



TUGAS AKHIR - RE 141581

**BIOREMEDIASI LUMPUR ALUM
MENGUNAKAN *Pseudomonas fluorescens*
DAN *Aspergillus niger* DENGAN
PENAMBAHAN SERBUK GERGAJI SEBAGAI
*BULKING AGENT***

INDIRA WIDO PRIMADIPTA
3313 100 010

Dosen Pembimbing
Harmin Sulistiyaning Titah, ST., MT., PhD.

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR - RE 141581

**BIOREMEDIASI LUMPUR ALUM
MENGUNAKAN *Pseudomonas fluorescens*
DAN *Aspergillus niger* DENGAN
PENAMBAHAN SERBUK GERGAJI SEBAGAI
*BULKING AGENT***

INDIRA WIDO PRIMADIPTA
3313100010

DOSEN PEMBIMBING
Harmin Sulistiyaning Titah, ST., MT., PhD.

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



FINAL PROJECT - RE 141581

**BIOREMEDIATION OF ALUM SLUDGE USING
Pseudomonas fluorescens AND *Aspergillus
niger* WITH ADDITION OF SAWDUST AS
BULKING AGENT**

INDIRA WIDO PRIMADIPTA
3313100010

SUPERVISOR
Harmin Sulistiyaning Titah, ST., MT., PhD.

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institute of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

LEMBAR PENGESAHAN

BIOREMEDIASI LUMPUR ALUM MENGGUNAKAN *Pseudomonas fluorescens* DAN *Aspergillus niger* DENGAN PENAMBAHAN SERBUK GERGAJI SEBAGAI *BULKING* *AGENT*


TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

INDIRA WIDO PRIMADIPTA
NRP 3313 100 010

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:



Harmin Sulistiyaning Titah, S.T., M.T., Ph.D.

NIP 197505232002122001



**Bioremediasi Lumpur Alum menggunakan
Pseudomonas fluorescens dan *Aspergillus niger*
dengan Penambahan Serbuk Gergaji sebagai *Bulking
Agent***

Nama Mahasiswa : Indira Wido Primadipta
NRP : 3313 100 010
Jurusan : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Harmin Sulistiyaning Titah, S.T., M.T.,
Ph.D.

ABSTRAK

Penggunaan koagulan Al_2SO_4 dalam pengolahan air minum dan menghasilkan produk samping berupa lumpur alum. Lumpur alum pada unit *accelator* di IPAM Ngagel 2 Surabaya dibuang secara langsung ke badan sungai tanpa pengolahan lebih lanjut. Dampak yang ditimbulkan dari akumulasi aluminium di badan sungai yakni dapat membahayakan kesehatan manusia dan mengganggu kelangsungan hidup biota sungai. Bioremediasi merupakan salah satu teknologi remediasi yang memanfaatkan mikroorganisme dan dapat digunakan untuk menyisihkan logam aluminium. Mikroorganisme yang dapat menyisihkan logam aluminium adalah *Pseudomonas fluorescens* dan *Aspergillus niger*. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan karakteristik awal lumpur alum dari IPAM Ngagel 2 meliputi konsentrasi Al, pH, suhu, densitas, kadar air serta porositas, efisiensi penyisihan aluminium dengan variasi penambahan serbuk gergaji sebagai *bulking agent*, jenis mikroorganisme (*Pseudomonas fluorescens*, *Aspergillus niger*, dan kombinasi keduanya), penambahan mikroorganisme (5 dan 10% (v/v)) serta bioremediasi paling efektif berdasarkan berbagai variasi yang telah disebutkan.

Pada penelitian ini variabel yang digunakan adalah komposisi sampel yakni 100% lumpur alum dan 97% lumpur alum dan 3% serbuk gergaji. Variasi jenis mikroorganisme, yakni *Pseudomonas fluorescens*, *Aspergillus niger*, dan kombinasi keduanya serta variasi konsentrasi penambahan mikroorganisme

yakni 5% (v/v) dan 10 % (v/v). Penelitian ini terdiri dari dua tahapan yaitu tahap pendahuluan terdiri atas pengambilan lumpur alum, uji karakterisasi lumpur alum, uji porositas, *re-growth* isolat bakteri dan jamur, uji laju pertumbuhan bakteri serta uji parameter yakni pH, suhu, kadar air, konsentrasi aluminium, dan jumlah koloni mikroorganisme. Analisis terhadap parameter uji bioremediasi aluminium dilakukan secara duplo dengan metode AAS. Uji penyisihan aluminium dilakukan selama 5 hari.

Karakteristik lumpur alum dari IPAM Ngagel 2 yakni memiliki konsentrasi aluminium 250 mg/L, pH 8,61 dengan suhu 31°C, massa jenis 1240 kg/m³, kadar air 98% serta angka porositasnya 0,0230. Berdasarkan jenis mikroorganisme dengan penambahan 5 dan 10% (v/v) *Pseudomonas fluorescens* didapatkan efisiensi penyisihan Al pada 100% lumpur alum yakni masing-masing 52,65% dan 21,11% sedangkan pada 97% lumpur alum dan 3% serbuk gergaji yakni masing-masing 8,16% dan 7,32%. Pada penambahan 5 dan 10% (v/v) *Aspergillus niger* didapatkan efisiensi penyisihan Al pada 100% lumpur alum yakni masing-masing 8,45% dan 9,08% sedangkan pada 97% lumpur alum dan 3% serbuk gergaji yakni masing-masing 8,27% dan 10,11%. Pada penambahan 5 dan 10% (v/v) kombinasi bakteri-jamur didapatkan efisiensi penyisihan Al pada 100% lumpur alum yakni masing-masing 13,46% dan 53,87% sedangkan pada 97% lumpur alum dan 3% serbuk gergaji yakni masing-masing 15,12% dan 21,41%. Didapatkan kesimpulan bahwa bioremediasi yang paling efektif untuk penyisihan aluminium yakni pada penambahan 10% (v/v) kombinasi *Pseudomonas fluorescens* dan *Aspergillus niger* dalam 100% lumpur alum sebesar 53,87%.

Kata kunci : *Aspergillus niger*, bioremediasi, aluminium, lumpur alum, *Pseudomonas fluorescens*

Bioremediation of Alum Sludge using *Pseudomonas fluorescens* and *Aspergillus niger* with Addition of Sawdust as Bulking Agent

Name : Indira Wido Primadipta
Student ID Number : 3313 100 010
Department : Teknik Lingkungan
Supervisor : Harmin Sulistiyaning Titah, S.T., M.T.,
Ph.D.

ABSTRACT

The use of Al_2SO_4 in the treatment of drinking water and produces by products in the form of alum sludge. Alum sludge on the accelerator unit at IPAM Ngagel 2 Surabaya discharged directly into water bodies without further processing. The impact of the accumulation of aluminum in water bodies: cause impact on harm human health and impact on biota in river. Bioremediation is one of a remediation technology that uses microorganisms and can be used to eliminate the metal content of aluminum. Microorganisms that can remediate metal aluminum are *Pseudomonas fluorescens* and *Aspergillus niger*.

The purposes of this study were to determine alum sludge characterization of IPAM Ngagel 2, i.e aluminium concentration, pH, temperature, moisture content, density and porosity, the efficiency removal of aluminium with addition of sawdust as a bulking agent, the type of microorganisms (*Pseudomonas fluorescens*, *Aspergillus niger*, and a combination of both), the addition of varying concentrations of microorganisms (5 and 10% (v/v) and the highest effective of bioremediation to remove aluminium based on the variations.

The variables in this study were the composition of alum sludge and sawdust, i.e 100% and 97% alum sludge and 3% sawdust. Variations in the type of microorganisms (*Pseudomonas fluorescens*, *Aspergillus niger*, and a combination of both). The latter variable was the addition of varying concentrations of microorganisms, i.e 5 and 10% (v/v). The study was conducted on two stages, namely the preliminary stage and the main stage.

Preliminary stages consist of alum sludge sampling, testing of alum sludge characterization, porosity test, re-growth of bacterial and fungal isolates and test of rate of growth of bacteria. The main stage were testing of bioremediation of aluminum and parameters measurement i.e pH, temperature, water content, concentration of aluminum, and the number of colonies of microorganisms with CFU methods. The analysis of the parameters of the test bioremediation total aluminum was carried out in duplicate with AAS method. Aluminium allowance test was conducted over 5 days.

Alum sludge characterization of IPAM Ngagel 2 has aluminum concentration of 250 mg/L, pH of 8.61, the temperature was 31°C, the density was 1240 kg/m³, moisture content was 98% and also the porosity was 0.0230. The results showed that the efficiency removal of aluminium with addition 5 and 10% (v/v) bacteria *Pseudomonas fluorescens* at 100% alum sludge were 52.65% and 21.11%, at 3% sawdust into 97% alum sludge were 8.16% and 7.32%. The efficiency removal aluminium with addition 5 and 10% (v/v) fungi *Aspergillus niger* at 100% alum sludge were 8.45% and 9.08%, at 3% sawdust into 97% alum sludge were 8.27% and 10.11%. The removal aluminium result with addition 5 and 10% (v/v) combination of bacteria-fungi at 100% alum sludge were 13.46% and 53.87%, at 3% sawdust into 97% alum sludge were 15.12% and 21.41%. In conclusion, the highest effective of bioremediation to remove aluminium was 53.87% occurred at the combination of *Pseudomonas fluorescens* and *Aspergillus niger* in 100% alum sludge with addition of 10% (v/v).

Keywords : Aluminium, alum sludge, *Aspergillus niger*, bioremediation, *Pseudomonas fluorescens*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas rahmat dan karunia-Nya serta kepada papa, mama, mbak dan adik saya, karena atas doa, dukungan, motivasi dan material penulis dapat menyelesaikan proposal tugas akhir dengan judul “Bioremediasi Lumpur Alum menggunakan *Pseudomonas fluorescens* dan *Aspergillus niger* dengan Penambahan Serbuk Gergaji sebagai *Bulking Agent*”

Atas bimbingan dan pengarahan yang telah diberikan hingga terselesaikannya laporan tugas akhir ini, saya menyampaikan terima kasih kepada:

1. Ibu Harmin Sulistiyaning Titah, S.T., M.T., Ph.D selaku dosen pembimbing tugas akhir, terima kasih atas kesediaan, kesabaran, bimbingan dan ilmu yang diberikan
2. Ibu Bieby Voijant Tangahu, S.T., M.T., Ph.D, Ibu Ipung Fitri Purwanti, S.T., M.T., Ph.D, Bapak Adhi Yuniarto, S.T., M.T., Ph.D, dan Bapak Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, S.T., MEPM selaku dosen penguji tugas akhir, terima kasih atas saran serta bimbingannya
3. Bapak Welly Herumurti, S.T., M.Sc. dan Ibu Nurhidayatul Alami, S.Si., M.Si. yang memberikan saran dan kritik terhadap tugas akhir saya
4. Bapak Hadi Sutrisno dan Laboran Jurusan Teknik Lingkungan lainnya yang telah membantu dan memfasilitasi ketika di Laboratorium

Saya menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini. Oleh karena itu saya menerima saran agar penulisan laporan tugas akhir ini menjadi lebih baik. Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, Januari 2017

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Ruang Lingkup	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Karakteristik Lumpur Alum	5
2.2 Karakteristik Logam Aluminium.....	6
2.3 Dampak Lumpur Alum bagi Kesehatan dan Lingkungan	6
2.4 Bioremediasi Logam.....	7
2.5 Pertumbuhan Mikroorganisme	8
2.6 Faktor Pertumbuhan Mikroorganisme	10
2.7 Media Substrat Perkembangbiakan Mikroorganisme	12
2.8 Karakteristik <i>Pseudomonas fluorescens</i>	13
2.9 Karakteristik <i>Aspergillus niger</i>	15
2.10 Laju Pertumbuhan <i>Aspergillus niger</i>	16
2.11 Karakteristik Serbuk Gergaji.....	16
2.12 Pengaruh Penambahan <i>Bulking Agent</i>	16
2.13 Uji Karakteristik Lumpur Alum	17
2.14 Penelitian Terdahulu.....	18
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	21
3.1 Kerangka Penelitian	21
3.2 Ide Penelitian	21
3.3 Studi Literatur	23
3.4 Persiapan Penelitian.....	23
3.5 Pelaksanaan Penelitian	28
3.6 Hasil dan Pembahasan	31
3.7 Kesimpulan dan Saran	32
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	33

4.1 Penelitian Pendahuluan.....	33
4.1.1 Analisis Karakteristik Lumpur Alum	33
4.1.2 Analisis Porositas Sampel	33
4.1.3 Analisis Laju Pertumbuhan Bakteri <i>P. fluorescens</i>	34
4.2 Penelitian Utama	35
4.2.1 Analisis Total Koloni Bakteri dan Jamur	35
4.2.2 Analisis Suhu, pH, dan Kadar Air	42
4.2.3 Analisis Penyisihan Konsentrasi Aluminium	49
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	55
5.1 Kesimpulan	55
5.2 Saran	56
DAFTAR PUSTAKA.....	57
BIOGRAFI PENULIS	93

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Kurva Pertumbuhan Mikroorganisme.....	9
Gambar 2. 2 <i>Pseudomonas fluorescens</i>	14
Gambar 2. 3 <i>Aspergillus niger</i>	15
Gambar 2. 4 Laju Pertumbuhan <i>Aspergillus niger</i>	16
Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian	22
Gambar 4. 1 Kurva Laju Pertumbuhan <i>P. fluorescens</i>	34
Gambar 4. 2 Bentuk Sel dan Koloni Bakteri <i>Pseudomonas fluorescens</i>	34
Gambar 4. 3 Bentuk Koloni Jamur <i>Aspergillus niger</i>	37
Gambar 4. 4 Jumlah Koloni Bakteri Penambahan 5% v/v	37
Gambar 4. 5 Jumlah Koloni Bakteri Penambahan 10% v/v	38
Gambar 4. 6 Jumlah Koloni Kombinasi Bakteri dan Jamur Penambahan 5% v/v	39
Gambar 4. 7 Jumlah Koloni Kombinasi Bakteri dan Jamur Penambahan 10% v/v	41
Gambar 4. 8 Suhu <i>P. fluorescens</i> pada Uji Bioremediasi	42
Gambar 4. 9 Suhu <i>A. niger</i> pada Uji Bioremediasi	43
Gambar 4. 10 Suhu Kombinasi <i>P. fluorescens</i> dan <i>A. niger</i> pada Uji Bioremediasi	44
Gambar 4. 11 pH <i>P. fluorescens</i> pada Uji Bioremediasi	45
Gambar 4. 12 pH <i>A. niger</i> pada Uji Bioremediasi	45
Gambar 4. 13 pH Kombinasi <i>P. fluorescens</i> dan <i>A. niger</i> pada Uji Bioremediasi	46
Gambar 4. 14 Kadar Air <i>P. fluorescens</i> pada Uji Bioremediasi ..	47
Gambar 4. 15 Kadar Air <i>A. niger</i> pada Uji Bioremediasi	47
Gambar 4. 16 Kadar Air Kombinasi <i>P. fluorescens</i> dan <i>Aspergillus niger</i> pada Uji Bioremediasi	48
Gambar 4. 17 Persentase Penyisihan Konsentrasi Al oleh <i>P. fluorescens</i> dan <i>A. niger</i>	49

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kadar Aluminium pada Lumpur Alum IPA Badak Singa PDAM Tirtawening Kota Bandung	5
Tabel 2. 2 Karakteristik Lumpur Alum	5
Tabel 3. 1 Variasi Perlakuan Bioremediasi Aluminium	31
Tabel 4. 1 Porositas Sampel	34

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Tahapan Metode Destruksi Basah	65
Lampiran 2 Tahapan <i>Re-growth</i> Isolat Bakteri dan Jamur.....	67
Lampiran 3 Tahapan Uji Laju Pertumbuhan Bakteri (<i>Single Culture Microorganism</i>)	69
Lampiran 4 Tahapan Inokulasi Bakteri ke Media yang Mengandung Aluminium.....	71
Lampiran 5 Tahapan Metode Volumetri dan Gravimetri	73
Lampiran 6 Dokumentasi Kegiatan	75
Lampiran 7 Hasil Perhitungan Porositas Sampel.....	75
Lampiran 8 Hasil Perhitungan TPC (<i>Total Plate Counter</i>)	79
Lampiran 9 Hasil Perhitungan Penurunan Konsentrasi Aluminium	81
Lampiran 10 Hasil Perhitungan Suhu, pH, dan Kadar Air	83
Lampiran 11 Hasil Uji AAS	89

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berkembangnya kota yang cukup pesat mempengaruhi jumlah penduduk yang semakin meningkat dari tahun ke tahun. Jumlah penduduk Kota Surabaya mencapai 2.929.528 jiwa dengan luas wilayah 326,37 km² (Dinas Kependudukan dan Catatan Sipil Kota Surabaya, 2010). Peningkatan jumlah penduduk di Kota Surabaya berbanding lurus dengan peningkatan akan kebutuhan air minum. Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Surya Sembada merupakan perusahaan daerah yang melayani penyediaan air minum di Kota Surabaya. PDAM memiliki Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) Ngagel 2 yang menggunakan koagulan aluminium sulfat (Al_2SO_4) dalam pengolahan air minum dengan menghasilkan produk samping berupa lumpur alum (Georgantas dan Grigoropoulou, 2005). Lumpur alum pada unit *accelerator* dibuang secara langsung ke badan sungai tanpa pengolahan lebih lanjut (Nurmansah dan Karnaningroem, 2012). Konsentrasi Al_2SO_4 yang berasal dari lumpur alum tanpa melewati pengolahan lumpur adalah sebesar 47,5% (Budi dan Suherman, 2005). Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 20 Tahun 1990 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air bahwa kadar maksimum logam aluminium untuk air golongan A adalah 0,2 mg/L. Proses pengolahan lumpur alum harus melewati tahapan *sludge thickening*, *sludge stabilization*, *sludge dewatering* dan *sludge drying* untuk menurunkan kandungan logam (Muhammad, 2010).

Menurut Lewis (1990), limbah lumpur yang berasal dari pengolahan air bersih PDAM memiliki kandungan logam aluminium yang tergolong sebagai limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3). Toksisitas aluminium pada manusia dapat menyebabkan kerusakan jaringan detoksifikasi, serta ekskresi hati dan ginjal (Guyton dan Hall, 1996). Apabila lumpur alum dibuang ke badan sungai maka dapat menyebabkan terjadinya pendangkalan sungai. Dampak lain yang ditimbulkan adalah membahayakan kesehatan manusia yang menggunakan air sungai, serta kelangsungan hidup biota sungai akan terganggu

akibat akumulasi lumpur alum yang berada di badan sungai (Fitri, 2010).

Beberapa alternatif teknologi pengolahan lumpur alum meliputi pengolahan kimiawi, fisik dan biologis. Metode pengolahan kimiawi, yakni proses *recovery* aluminium sulfat (alum) dalam bentuk lumpur alum menjadi alumina (Al_2O_3) (Budi dan Suherman, 2005). Proses berikutnya adalah mereaksikan Al_2O_3 dengan H_2SO_4 sehingga didapatkan tawas cair sebagai koagulan pada proses koagulasi dan flokulasi pada penjernihan air (Mirwan, 2012). Pengolahan fisik, yakni menggunakan lumpur alum sebagai bahan dasar pembuatan batu bata. Proses pembuatannya adalah lumpur alum dicampur dengan silika, tanah liat, dan zeolit. Campuran lumpur alum, silika, tanah liat, dan zeolit, kemudian dibentuk dan dipanaskan (Faris dan Saeed, 2014). Beberapa penelitian yang telah memanfaatkan bakteri dalam proses bioremediasi logam, yakni menggunakan *T. ferrooxidans*. Kemampuan bakteri *T. ferrooxidans* dalam menurunkan aluminium sebesar 78% di dalam limbah lumpur industri (Solisio et al., 2001).

Bioremediasi merupakan salah satu teknologi remediasi yang memanfaatkan mikroorganisme. Teknologi ini digunakan untuk remediasi sebuah area dan dapat memperbaiki sebuah lahan yang tercemar secara menyeluruh (Evelyne dan Ravinsakar, 2014). Teknologi bioremediasi dipilih karena ekonomis, cukup efektif, efisien, dan lebih ramah lingkungan (Udiharto, 1992). Beberapa mikroorganisme yang dapat digunakan untuk bioremediasi logam adalah *Bacillus spp.*, *Pseudomonas spp.*, *Staphylococcus spp.*, dan *Aspergillus niger* (Kumar et al., 2014). *Pseudomonas fluorescens* memiliki resisten terhadap kadar aluminium sebesar 3000 mg/l (Shafikh dan Ade, 2014) sedangkan *Aspergillus niger* mampu resisten dengan kadar aluminium sebesar 2000 mg/l (Santhiya dan Ting, 2006).

Laju biodegradasi dalam proses bioremediasi dapat ditingkatkan dengan penambahan *bulking agent*. *Bulking agent* adalah bahan tambahan yang digunakan untuk memperbaiki permeabilitas dan meningkatkan laju biodegradasi dalam proses pemulihan. *Bulking agent* juga berfungsi sebagai pengatur porositas, kelembaban, dan sumber nutrisi. *Bulking agents* yang digunakan berupa serbuk gergaji, *sludge* sisa biogas, dan kompos (Retno dan Mulyana, 2013).

Dalam penelitian ini dipilih bioremediasi lumpur alum dengan menggunakan spesies bakteri dan fungi, yakni *Pseudomonas fluorescens*, *Aspergillus niger*, maupun kombinasi keduanya. Teknik ini dilakukan untuk melihat sejauh mana tingkat penurunan kandungan logam aluminium pada lumpur alum. Penambahan serbuk gergaji sebagai *bulking agent* pada media dapat meningkatkan efektifitas penurunan kandungan logam aluminium.

1.2 Rumusan Masalah

Pembuangan lumpur alum di sungai dapat membahayakan lingkungan sekitar karena aluminium termasuk logam yang bersifat toksik. Pencemaran aluminium di sungai dapat dicegah dengan menggunakan teknologi yang ramah lingkungan. Salah satu teknologi yang dapat digunakan adalah bioremediasi. Bioremediasi lumpur alum dilakukan dengan menggunakan mikroorganisme baik bakteri maupun jamur serta penambahan *bulking agent* untuk menurunkan konsentrasi aluminium di dalam lumpur alum.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini:

1. Menentukan karakteristik awal lumpur alum dari IPAM Ngagel 2 Surabaya meliputi konsentrasi aluminium, pH, suhu, massa jenis dan kadar air serta porositas.
2. Menentukan efisiensi penyisihan aluminium melalui bioremediasi dengan variasi penambahan serbuk gergaji sebagai *bulking agent*, jenis mikroorganisme (*Pseudomonas fluorescens*, *Aspergillus niger*, dan kombinasi keduanya) serta penambahan mikroorganisme (5 dan 10% (v/v)).
3. Menentukan bioremediasi yang paling efektif berdasarkan berbagai variasi yang telah disebutkan.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam penelitian ini:

1. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium yang akan dilakukan di Laboratorium TAKI Jurusan Teknik Kimia FTI ITS, Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil

FTSP ITS, Laboratorium Limbah Padat dan B3, Laboratorium Pemulihan Air dan Laboratorium Remediasi Lingkungan Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS

2. Penelitian dilakukan pada awal September hingga Oktober 2016
3. Penelitian utama dilakukan selama 5 hari
4. Analisis total aluminium dilakukan dengan teknik *Atomic Absorbtion Spectrofotometer* (AAS)
5. Jenis media yang digunakan untuk *regrowth* mikroorganisme:
 - Media *Nutrient Agar* (NA) untuk *Pseudomonas fluorescens*
 - Media *Potato Dextrose Agar* (PDA) untuk *Aspergillus niger*
6. Sumber lumpur alum diambil dari unit *accelator* di IPAM Ngagel 2 Kota Surabaya
7. Parameter yang diteliti adalah pH, suhu, kadar air, konsentrasi aluminium, dan jumlah koloni mikroorganisme
8. Variabel yang digunakan:
 - Variasi komposisi lumpur alum dan serbuk gergaji, yakni 100% lumpur alum serta rasio komposisi dari hasil uji porositas dengan nilai angka pori tertinggi
 - Variasi jenis mikroorganisme, yakni *Pseudomonas fluorescens*, *Aspergillus niger*, dan keduanya
 - Variasi konsentrasi penambahan mikroorganisme, yakni 5% (v/v) dan 10% (v/v)
9. Reaktor yang digunakan dalam penelitian adalah wadah kaca 650 ml

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini:

1. Memberikan alternatif penggunaan teknologi untuk menurunkan kadar aluminium pada lumpur alum
2. Sebagai informasi secara ilmiah mengenai teknik bioremediasi dengan *Pseudomonas fluorescens* dan *Aspergillus niger* dalam penurunan kadar aluminium dalam lumpur alum

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Lumpur Alum

Lumpur alum adalah residu yang dihasilkan dari proses pengolahan air baku yang bersumber dari air permukaan (sungai) menjadi air minum. Lumpur alum umumnya mengandung berbagai macam mineral dan materi organik yang mengendap dari air baku dan residu senyawa koagulan yang digunakan (Babatunde dan Zhao, 2007; Adityosulindro dkk., 2013).

Lumpur alum adalah limbah dihasilkan dari proses pengolahan air minum pada unit *clearator*, sedimentasi maupun *accelerator*. Kandungan aluminium pada lumpur alum adalah akibat dari penambahan koagulan aluminium sulfat $Al_2(SO_4)_3$. (Santriyana dkk., 2013).

Kandungan lumpur alum sangat tergantung pada sumber air baku, jumlah aluminium sulfat $Al_2(SO_4)_3$ yang dipakai dan bahan kimia yang digunakan (Babatunde dan Zhao, 2007). Kandungan aluminium pada lumpur alum setelah unit koagulasi pada proses pengolahan air minum adalah sebesar 39% berat (Boaventura et al., 2000).

Tabel 2. 1 Kadar Aluminium pada Lumpur Alum IPA Badak Singa PDAM Tirtawening Kota Bandung

Kode	Lokasi	Aluminium Total (mg/L)
L1	Accelator	4.794
L2	Sedimentasi	8.300
L3	Manhole	2.738

Sumber : Az-Zahra dkk. (2014)

Tabel 2. 2 Karakteristik Lumpur Alum

Parameter	Range
pH	5,12 – 8,0
Aluminium (g/kg)	27–153
Zat Organik (g/kg)	63 – 144

Sumber: Dassanayake et al. (2015)

2.2 Karakteristik Logam Aluminium

Aluminium merupakan logam yang lunak dengan tampilan menarik, ringan, tahan korosi, mempunyai daya hantar panas dan daya hantar listrik yang relatif tinggi. Aluminium mudah dibentuk serta cadangannya dikerak bumi melimpah melebihi cadangan besi (Fe). Aluminium murni mempunyai kekuatan dan sifat mekanis yang rendah. Kekuatan aluminium murni tidak dapat ditingkatkan dengan proses perlakuan panas (*heat treatment, age hardening*) (Setiawan, 2014).

Aluminium merupakan logam non-ferrous yang paling banyak digunakan di dunia, dengan pemakaian tahunan sekitar 24 juta ton. Aluminium dengan densitas 2,7 g/cm³ sekitar sepertiga dari densitas baja (8,83 g/cm³), tembaga (8,93 g/cm³), atau kuningan (8,53 g/cm³), mempunyai sifat yang unik, yaitu: ringan, kuat, dan tahan terhadap korosi pada lingkungan luas termasuk udara, air (termasuk air garam), petrokimia, dan beberapa sistem kimia (ASM, 1990; Rahmawati, 2010).

Pada proses pengolahan air bersih, dimana tahap penjernihan air masih sangat menguntungkan jika menggunakan alum atau tawas. Aluminium sulfat sangat jarang ditemukan pada bentuk anhidrat. Bentuk yang sering ditemukan adalah bentuk hexa deca hidrat dan octa deca hidrat. Sedangkan pada mineral alami memiliki rumus empiris yang sama dengan hepta deca hidrat. Aluminium sulfat biasanya banyak dijumpai di pasaran berupa bentuk teknis dan komersial (dengan batas kadar besinya 0.05 untuk teknis dan 0.5 untuk komersial) (Nurchahyo dkk., 2014).

2.3 Dampak Lumpur Alum bagi Kesehatan dan Lingkungan

Keberadaan lumpur alum pada setiap unit pengolahan air dapat diartikan sebagai banyaknya buangan limbah yang dihasilkan dari proses pengolahan air minum. Lumpur alum yang dibuang langsung ke badan air dapat menimbulkan masalah bagi lingkungan khususnya bagi biota perairan tersebut. Penggunaan Aluminium Sulfat $Al_2(SO_4)_3$ sebagai bahan koagulan yang digunakan dalam unit koagulasi memicu terjadinya akumulasi aluminium di perairan yang berdampak bagi lingkungan dan kesehatan (Santriyana dkk., 2013).

Jika dilihat dari kadar aluminium yang cukup tinggi pada lumpur alum tersebut tidak boleh dibuang ke sungai karena dapat

memberikan efek negatif pada lingkungan. Belum ada peraturan mengenai kadar maksimum aluminium dalam effluent limbah yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan. Peraturan yang mengatur terkait kadar maksimum aluminium sangat diperlukan karena sifat aluminium yang resisten dan umumnya tidak larut dalam keadaan pH netral (antara 6,0 – 8,0) (Az-Zahra dkk., 2014). Ketika lumpur alum telah diolah, aluminium akan tetap ada di dalam cake lumpur hasil olahan, jika pengolahannya hanya sebatas parameter fisik saja (Az-Zahra dkk., 2014).

Dampak paparan aluminium bagi kesehatan manusia dapat terjadi melalui makanan, pernapasan, dan kontak dengan kulit. Apabila terkena kulit akan menyebabkan tersumbatnya pori-pori kulit dan menyebabkan kulit tidak bisa mengeluarkan racun secara alami. Eksposur jangka panjang dan konsentrasi tinggi aluminium dapat mengakibatkan efek kesehatan yang serius, seperti kerusakan pada sistem saraf pusat, demensia, kehilangan memori, kelesuan, dan gemetar (Az-Zahra dkk., 2014)

2.4 Bioremediasi Logam

Bioremediasi adalah suatu proses pemulihan polutan dengan memanfaatkan jasa makhluk hidup seperti mikroba (bakteri, fungi, khamir), tumbuhan hijau atau enzim yang dihasilkan dalam proses metabolisme mereka (Alexander, 1977; Widyati, 2008; Hayati, 2011).

Tiga teknik dasar yang digunakan yaitu stimulasi aktivitas mikroorganisme asli dengan penambahan nutrien, pengaturan kondisi redoks, mengoptimalkan kondisi pH, dan lainnya. Inokulasi in situ dengan mikroorganisme yang memiliki kemampuan biotransforming tertentu, dan aplikasi enzim untuk mengimobilisasikan logam dengan cara menggunakan mikroorganisme dan penggunaan tanaman (fitoremediasi) untuk menghilangkan, membatasi atau mengubah polutan (Turco dan Sadowsky, 1995; Hayati, 2011).

Bioreaktor adalah biodegradasi dalam bejana (kontainer) atau reaktor, digunakan untuk perlakuan terhadap cairan atau bubur (*slurry*) sedangkan bioremediasi in situ melibatkan penggunaan organisme untuk menghilangkan polutan di lokasi kontaminasi. Organisme yang digunakan berasal dari lingkungan tersebut dan bahkan mungkin disesuaikan untuk pertumbuhan

pada kontaminan kimia dalam lingkungan tertentu. Keberhasilan bioremediasi di tanah dipengaruhi tiga faktor independen namun saling terkait yaitu kontaminan, mikroorganisme, dan lingkungan (Hayati, 2011).

Jenis-jenis bioremediasi adalah sebagai berikut biostimulasi, bioaugmentasi dan bioremediasi *intrinsic*. Faktor yang mempengaruhi optimalisasi proses bioremediasi meliputi adanya populasi mikroba yang mampu menurunkan polutan, keberadaan kontaminan terhadap populasi mikroba, faktor-faktor lingkungan (jenis tanah, suhu, pH, adanya oksigen atau akseptor elektron lainnya, dan nutrisi) (Suryani, 2011).

2.5 Pertumbuhan Mikroorganisme

Tipe pertumbuhan mikroorganisme tidak berlangsung dalam periode waktu yang kontinyu, namun dipengaruhi oleh lingkungan dan nutrisi yang terkandung di dalamnya. Nutrisi ini sangat membantu pertumbuhan bakteri. Pertumbuhan mikroorganisme dapat digambarkan dengan kurva pertumbuhan seperti pada Gambar 2.2. Menurut Sarbini (2012), kurva pertumbuhan mikroorganisme dibagi ke dalam 4 fase:

- **Fase Penyesuaian (*lag phase*)**

Fase ini mencakup interval waktu antara tahap penanaman dan saat tercapainya kecepatan pembelahan maksimum. Ada fase ini bakteri melakukan sintesa molekul-molekul yang dibutuhkan untuk pertumbuhan dan pembelahan sel serta enzim metabolisme yang diperlukan. Selain itu juga mikroorganisme mengalami penambahan ukuran sel.

- **Fase Pertumbuhan Eksponensial (*logarithmic phase*)**

Pada fase ini, sel mikroorganisme mengalami proses pembelahan diri dengan laju yang sesuai dengan kemampuannya dalam menyerap nutrisi dari lingkungan. Populasi mikroorganisme bertambah dengan laju pertumbuhan maksimum dan berlipat ganda sebagai fungsi dari waktu generasinya. Kecepatan pembelahan diri relatif konstan, maka tahap ini paling cocok untuk menetapkan kecepatan pembelahan diri atau disebut juga laju pertumbuhan

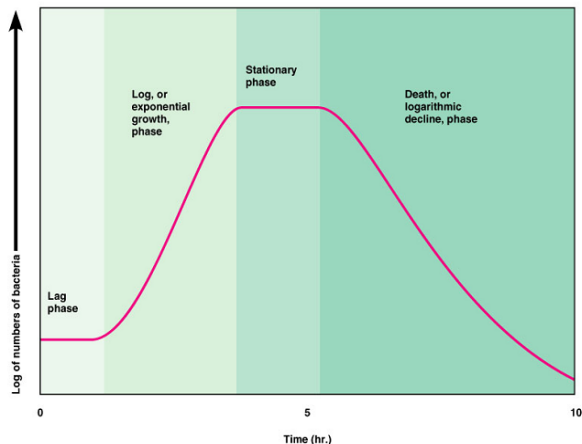
- **Fase Pertumbuhan Stationer (*stationary phase*)**

Fase stasioner ditandai dengan terhentinya pertumbuhan dari sel-sel. Kecepatan pertumbuhan tergantung dari kadar

substrat, sehingga menurunnya kecepatan pertumbuhan sudah terjadi ketika kadar substrat berkurang sebelum substrat habis dipakai. Pengalihan fase eksponensial ke fase stasioner terjadi berangsur-angsur. Selain keterbatasan substrat, ada juga faktor-faktor yang menyebabkan penurunan pertumbuhan. Faktor-faktor tersebut adalah kepadatan populasi yang tinggi, tekanan parsial oksigen yang rendah dan timbunan produk metabolisme yang toksik. Pada fase stasioner, bahan-bahan simpanan masih dapat digunakan sebagai ribosom dan dapat diuraikan. Hanya sel yang amat rentan saja yang cepat mati. Selama energi yang dibutuhkan untuk mempertahankan sel-sel masih dapat diperoleh dengan respirasi bahan simpanan dan protein, bakteri masih mampu mempertahankan hidup untuk jangka panjang. Pada fase ini, biomassa mencapai maksimum.

- **Fase Kematian (*death phase*)**

Fase kematian ditandai dengan berkurangnya jumlah sel hidup (*viable*) dalam media akibat terjadinya kematian. Jumlah sel hidup dapat berkurang secara eksponensial. Hal ini disebabkan karena tidak adanya lagi substrat yang dapat mendukung pertumbuhan bakteri ataupun karena akumulasi produk samping metabolisme yang bersifat toksik.



Gambar 2. 1 Kurva Pertumbuhan Mikroorganisme

Sumber: Sarbini (2012)

2.6 Faktor Pertumbuhan Mikroorganisme

Faktor yang mempengaruhi perkembangan mikroorganisme antara lain nutrisi makanan, oksigen, suhu, derajat kemasaman (pH), dan cahaya.

a. Nutrisi makanan

Kebutuhan fungi akan karbohidrat lebih besar dari pada nutrisi lainnya, akan tetapi sumber nitrogen juga harus dipenuhi. Spora dalam perkecambahannya, berkembang menjadi tabung kecambah, dengan memanfaatkan suplai cadangan protein, karbohidrat dan lemak yang sudah ada dari awal. Pada umumnya fungi mampu untuk merombak karbohidrat dan bahan-bahan organik lainnya dengan reaksi enzimatis sehingga membuatnya lebih mudah untuk asimilasi (Pratomo, 2006). Sedangkan pada bakteri kebutuhan nutrisi bakteri hampir sama dengan komposisi sel-sel bakteri. Struktur kimia bakteri diperkirakan mendekati $C_5H_7O_2N$. Karbon diperoleh dari senyawa organik seperti glukosa, tetapi ada juga beberapa yang menggunakan senyawa anorganik, seperti karbonat dan bikarbonat sebagai sumber karbon. Hidrogen dan oksigen diperoleh dari air. Nitrogen, fosfor, dan sulfur diperoleh dari senyawa organik dan anorganik (Sarhini, 2012)

b. Suhu

Menurut Pratomo (2006), suhu sangat penting dalam menentukan jumlah dan tingkat pertumbuhan. Peningkatan temperatur mempunyai efek yang umum dalam meningkatkan aktifitas enzim dan aktifitas kimia. Dua hal yang umum berlaku mengenai pengaruh suhu, yaitu kisaran suhu untuk kemungkinan terjadinya sporulasi lebih sempit dibandingkan dengan kisaran untuk pertumbuhan, dan suhu optimum untuk pertumbuhan satu macam spora mungkin berlainan dari suhu optimum untuk produksi bentuk spora yang lain serta untuk pertumbuhan satu jenis fungi. Menurut Kumaran dan Dharani (2011), fungi dapat tumbuh pada kisaran suhu $\pm 35^\circ\text{C}$. Sedangkan menurut Trihadiningrum (2012), salah satu parameter fisik mempengaruhi pertumbuhan bakteri adalah suhu. Berdasarkan suhu, bakteri dapat digolongkan menjadi 3 golongan yakni:

- Psikrofil dapat tumbuh dengan baik pada suhu sekitar 0°C atau lebih rendah lagi.

- Mesofil tumbuh dengan baik pada suhu 25-40 °C.
- Termofil dapat tumbuh dengan baik pada suhu 45-60 °C. Spesies termofil yang tumbuh baik pada kisaran suhu mesofil disebut euritermofil atau termofil fakultatif. Sedangkan kelompok yang hanya dapat tumbuh dengan baik pada suhu di atas 60°C disebut stenotermofil atau termofil obligat. Mikroorganisme hipertermofil dapat hidup pada suhu sekitar 90 °C.

c. Oksigen

Menurut Trihadiningrum (2012), mikroorganisme diklasifikasikan menjadi 4 kelompok atas dasar kebutuhannya akan oksigen, yaitu:

- Mikroorganisme aerobik, yaitu kelompok mikroorganisme yang memerlukan oksigen untuk melakukan respirasi seluler
- Mikroorganisme anaerobik obligat, yaitu kelompok mikroorganisme yang tidak dapat hidup dan berkembang biak dalam lingkungan yang mengandung oksigen. Hal ini disebabkan adanya enzim-enzim yang sangat sensitif dan tidak dapat berfungsi bila terdapat oksigen.
- Mikroorganisme anaerobik fakultatif, yaitu kelompok mikroorganisme yang dapat hidup dengan atau tanpa kehadiran oksigen.
- Mikroorganisme mikroaerofilik, yaitu mikroorganisme aerobik yang hanya memerlukan tekanan oksigen rendah.

d. Derajat kemasaman

Nilai pH yang ekstrim rendah dapat mengakibatkan gangguan pertumbuhan mikroorganisme, karena dapat mempengaruhi aktifitas enzim. Kisaran pH optimum untuk kebanyakan mikroorganisme adalah pH 6,5-7,5, dengan batas minimum dan maksimum 4-9 (Trihadiningrum, 2012). Akan tetapi fungi masih mampu tumbuh dengan baik pada selang yang lebih luas, dari sekitar pH 3 sampai pH 8 (Pratomo, 2006).

e. Cahaya

Mikroorganisme dapat dipengaruhi oleh cahaya dalam beberapa cara. Cahaya dapat mempengaruhi laju pertumbuhan, kapasitas sintesa pada mikroorganisme, mempengaruhi pembentukan struktur reproduktif, cahaya dapat pula mengontrol pergerakan *phototropic* dari struktur reproduksi. Cahaya dapat berpengaruh terhadap reproduksi mikroorganisme dalam bentuk

perangsangan, penghambatan atau arah pembentukan struktur reproduksi. Dengan pemberian cahaya kerap kali mikroorganisme dapat lebih cepat dan lebih banyak bereproduksi (Pratomo, 2006).

2.7 Media Substrat Perkembangbiakan Mikroorganisme

Hal penting yang harus diperhatikan dalam membudidayakan atau melakukan kultur mikroorganisme adalah jenis media yang digunakan. Media digunakan sebagai penunjang pertumbuhan serta perkembangbiakan mikroorganisme. Pratomo (2006) menjelaskan, secara umum media yang baik untuk pertumbuhan harus memenuhi persyaratan berikut:

- Mempunyai semua nutrisi yang mudah digunakan oleh organisme
- Mempunyai tekanan osmosa, tegangan permukaan dan derajat kemasaman (pH) yang sesuai
- Tidak mengandung zat-zat yang menghambat pertumbuhan mikroorganisme yang dikehendaki, dan
- Steril dan terlindung dari kontaminasi

Mikroorganisme dapat dibiakkan pada berbagai jenis substrat. Meskipun demikian sebenarnya tidak ada satu macam substrat pun yang sesuai untuk membiakkan semua jenis mikroorganisme, karena keperluan nutrisi untuk tiap jenis mikroorganisme berbeda. Beberapa mikroorganisme dapat tumbuh dengan baik pada media yang mengandung beberapa bahan organik, sedang mikroorganisme yang lain memerlukan zat-zat kimia tertentu. Isolasi mikroorganisme dapat menggunakan beragam media, antara lain:

- **Media umum** adalah media yang mengandung kebutuhan pokok penunjang pertumbuhan sebagian besar mikroorganisme.
- **Media kimiawi** adalah media yang dibuat dari garam-garam anorganik dan senyawa organik sederhana (misal glukosa dan asam amino murni) dengan komposisi dan konsentrasi tertentu. Media ini hanya dapat digunakan untuk menumbuhkan beberapa jenis mikroorganisme dan memiliki harga mahal (Trihadiningrum, 2012).
- **Media kompleks** adalah media yang dibuat dari bahan-bahan alami seperti ekstrak daging atau tumbuhan. Media ini banyak

digunakan di laboratorium karena mudah, tidak mahal dan dapat digunakan untuk pertumbuhan berbagai jenis mikroorganisme. Adapun kelemahan media ini adalah komposisi kimiawi yang bervariasi sehingga dapat mengubah karakteristik mikroorganisme (Trihadiningrum, 2012).

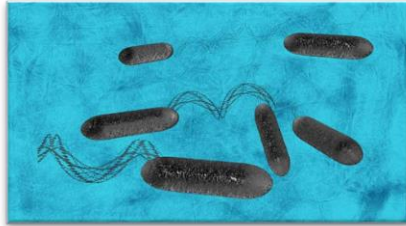
- **Media semi selektif** adalah media yang mengandung nutrisi dalam jumlah minimum yang sanggup menunjang pertumbuhan mikroorganisme tertentu.
- **Media selektif** adalah media yang dimodifikasi dengan pengaturan pH media atau dengan menambah zat penghambat, sehingga pertumbuhan jenis organisme tertentu yang tidak dikehendaki dihambat.
- **Media diferensial** adalah media yang mengandung zat-zat kimia tertentu sehingga memungkinkan untuk membedakan berbagai spesies mikroorganisme. Media ini digunakan untuk mengisolasi dan mengidentifikasi mikroorganisme tertentu.
- **Media diperkaya** adalah media yang digunakan untuk menumbuhkan jenis mikroorganisme tertentu lebih cepat dari mikroorganisme lainnya (Trihadiningrum, 2012).
- **Media hidup** adalah media yang disediakan untuk kelangsungan hidup mikroorganisme tertentu antara lain virus, rickettsia, dan spirochaeta yang hanya dapat berkembang biak dalam jaringan makhluk hidup (embrio ayam atau tikus dan kultur jaringan) (Trihadiningrum, 2012).

2.8 Karakteristik *Pseudomonas fluorescens*

Genus *Pseudomonas* termasuk dalam famili Pseudomonadaceae. Pseudomonadaceae dan genus lain bersama organisme tertentu dikenal sebagai Pseudomonad. Istilah Pseudomonad ditujukan pada bakteri yang memiliki perlengkapan fisiologi yang sama dengan bakteri genus *Pseudomonas*. Beberapa dari bakteri-bakteri ini pada awalnya termasuk dalam genus *Pseudomonas* tetapi kemudian dipindahkan ke genus atau famili lain karena jauhnya jarak filogenetik mereka dari genus *Pseudomonas*. Berikut ini taksonomi *P. fluorescens*:

Kingdom	: Bacteria
Phylum	: Proteobacteria
Class	: Gamma Proteobacteria

Order : Pseudomonadales
Family : Pseudomonadaceae
Genus : Pseudomonas
Species : *Fluorescens*



Gambar 2. 2 *Pseudomonas fluorescens*

Sumber: El-Fadaly dkk. (2015)

Bakteri *P. fluorescens* berbentuk batang, 0,7-0,8 x 2,3 μm kadang-kadang tidak motil. Biakan bakteri memproduksi pigmen floresen, terutama pada media yang defisien besi. Koloni pada media yang mengandung sukrose 2-4% berlendir karena menghasilkan levan. Reaksi oksidase negatif, hidrolisis gelatin positif, hidro-lisis pati negatif, sumber karbon L arabinose, glukose, sukrose, sakarat, propinonat, sorbitol, adonitol, meso inositol, dan DL arginin. Lipolitik, tidak memerlukan zat tumbuh, kebutuhan nutrisi sangat variabel, Reaksi terhadap kuning telur positif. Aerob obligat, tetapi dapat tumbuh anaerobik pada media nitrat. Kisaran suhu pertumbuhan optimal 25-30°C dengan suhu pertumbuhan minimum 4°C dan maksimum 41°C. Ciri-ciri ini juga disesuaikan dengan pustaka acuan (Krieg dan Holt, 1984).

Bakteri *Pseudomonas fluorescens* merupakan bakteri gram negatif yang memiliki resistensi dan toleransi yang lebih besar terhadap logam dibandingkan dengan bakteri gram positif karena struktur dinding sel yang lebih kompleks sehingga mampu mengikat dan mengimobilisasi ion logam (Ahmad et al., 2005).

Menurut Rasulov et al. (2013) bakteri dapat menghasilkan polisakarida ekstraseluler atau exopolysaccharides (EPS) sebagai agen aktif pada permukaan dinding sel untuk mengkelat logam. EPS merupakan polimer dari gula pereduksi dengan berat molekul tinggi yang disekresikan oleh mikroorganisme ke lingkungan eksternalnya. EPS umumnya terdiri dari monosakarida dan

beberapa substituen non-karbohidrat seperti asetat, piruvat, suksinat, dan fosfat juga biomolekul seperti protein, asam nukleat, dan lipid. Adsorpsi logam dengan EPS adalah proses interaksi antara kation logam dan muatan negatif dari gugus fungsional asam EPS.

2.9 Karakteristik *Aspergillus niger*

Aspergillus niger masuk ke dalam kelompok Nigri dengan ciri konidia berwarna hitam. Adapun taksonomi dari *A. niger*:

Kingdom	: Fungi
Filum	: Ascomycotina
Kelas	: Eurotiomycetes
Order	: Eurotiales
Family	: Trichocomaceae
Genus	: <i>Aspergillus</i> (kelompok Nigri)
Spesies	: <i>Niger</i>



Gambar 2. 3 *Aspergillus niger*

Sumber: Rodriguez dan Fraga (1999)

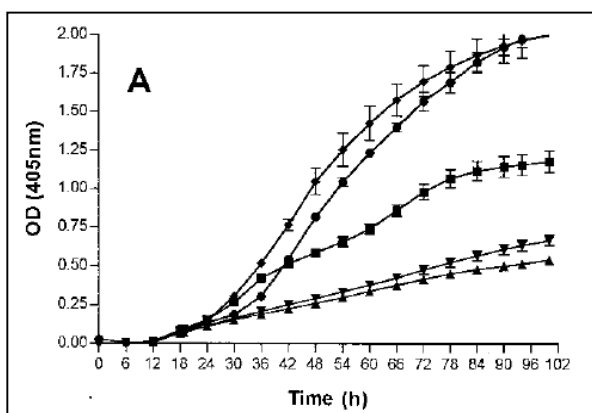
A. niger merupakan jenis fungi multiseluler yang dapat ditemukan dengan mudah di lingkungan terutama di air dan tanah khususnya pada kondisi hangat. *A. niger* hidup pada suhu 20°-40°C dengan suhu optimal 37°C. Spesies ini tumbuh dengan baik pada keadaan asam, kadar gula tinggi, kadar garam tinggi, tingkat kelembapan 90-100% serta dapat tumbuh pada pH 2-8(Fiedler dkk., 2001).

A. niger masuk dalam filum ascomycotina karena spora seksualnya diproduksi dalam struktur kantung yang disebut dengan askus. *A. niger* berkembang biak melalui seksual dan aseksual. Perkembangbiakan secara aseksual terjadi pada konidia

yang berbentuk bola bercabang yang berfungsi sebagai penghasil spora sekaligus sebagai penyangga konidium. Sedangkan perkembangbiakan melalui seksual menghasilkan calon spora (askospora) yang dibentuk pada askokarp (penyusun batang buah). *A. niger* banyak melakukan proses aseksual dibandingkan dengan seksual hanya terjadi jika lingkungan sekitar tidak mendukung seperti kurangnya nutrisi (Rosmadewi, 2015).

2.10 Laju Pertumbuhan *Aspergillus niger*

Laju pertumbuhan jamur adalah laju penambahan jumlah volume serta ukuran sel. Pertumbuhan jamur akan membentuk kurva yang sigmoid yakni pada Gambar 2.4 di bawah ini:



Gambar 2. 4 Laju Pertumbuhan *Aspergillus niger*

Sumber: Meletiadis et al. (2001)

Laju pertumbuhan jamur tersebut diukur dengan menggunakan pengukuran *Optical Density* (OD). Masa eksponensial jamur terletak pada jam ke-0 hingga jam ke-102. Pengukuran dilakukan dengan panjang gelombang 405 nm di spektrofotometer.

2.11 Karakteristik Serbuk Gergaji

Serbuk gergaji merupakan bahan yang dihasilkan dari pemotongan kayu dengan gergaji. Serbuk gergaji berisi 40% -50%

selulosa, 25% -35% hemiselulosa, dan 20% -30% lignin (Sinag et al., 2009). Serbuk gergaji merupakan limbah dari hasil pemotongan kayu yang dapat menimbulkan pencemaran lingkungan, yakni apabila serbuk gergaji dibakar maka akan menghasilkan efek asap yang tebal dan apabila ditumpuk dan dibuang ke sungai maka akan dapat menyumbat aliran sungai (Mahalingam dan Maruthamalai, 2014)

Lignin adalah dinding sel yang melindungi selulosa dan hemiselulosa dari serangan enzimatik oleh beberapa mikroorganisme. Selulosa merupakan salah satu bahan organik yang dapat disintesis. Sedangkan hemiselulosa adalah polisakarida yang mengisi ruang antara serat-serat selulosa dalam dinding sel tumbuhan. Selulosa merupakan biopolimer alami dan komponen penting dari siklus karbon biosfir (Philips dan Humphrey, 1993).

2.12 Pengaruh Penambahan *Bulking Agent*

Penambahan bulking pemadatan tanah dan meningkatkan porositas tanah serta suplai oksigen. Peningkatan porositas seringkali diikuti dengan menurunnya kadar kelembaban tanah sehingga diperlukan agen penyangga untuk mempertahankannya selama proses biodegradasi berlangsung (Eweis, 1998; Munawar, 2012).

Menurut Retno dan Mulyana (2013), serbuk gergaji lebih efektif dibandingkan dengan kompos dan lumpur biogas. Serbuk gergaji sebagai bulking agent mampu mempercepat proses degradasi oleh mikroorganisme karena dapat memperbaiki permeabilitas dan porositas sampel. Sebaliknya penambahan kompos dan lumpur biogas menyebabkan pemadatan sampel yang berpengaruh terhadap kinerja mikroorganisme karena oksigen tidak dapat masuk ke sampel.

2.13 Uji Karakteristik Lumpur Alum

Uji karakteristik lumpur alum sebelum dan setelah proses bioremediasi untuk menentukan penyisihan logam aluminium oleh *Pseudomonas fluorescens* dan *Aspergillus niger*. Parameter yang diteliti adalah pH, suhu, kadar air dan aluminium. Senyawa aluminium dalam sampel didestruksi dalam suasana asam sampai terlarut seluruhnya. Kadar aluminium diukur menggunakan

Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) secara langsung (SNI 6989:34:2009).

Belum terdapat satu pun parameter maksimum kadar aluminium dalam *effluent* limbah yang diperbolehkan dibuang ke badan air. Hal ini memberikan justifikasi bahwa sangat diperlukannya peraturan tersebut. Hal ini didasarkan pada sifat aluminium yang resisten dan umumnya tidak larut dalam pH netral (antara 6,0-8,0), di bawah asam ($\text{pH} < 6,0$). (Az-Zahra dkk., 2014).

Limbah lumpur alum tidak diperbolehkan di buang ke lingkungan meskipun tidak terdapat peraturan di Indonesia yang menyebutkan kadar maksimum aluminium di badan air. Hal ini berkaitan dengan Peraturan Pemerintah Nomor 16 Tahun 2005 tentang Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) dimana pasal 9 ayat 3 disebutkan, bahwa limbah akhir dari proses pengolahan wajib diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke sumber air baku dan daerah terbuka. Peraturan lainnya yakni Peraturan Kementerian Pekerjaan Umum Nomor 18 Tahun 2007 tentang penyelenggaraan SPAM untuk melakukan perlindungan terhadap sumber air baku.

Berdasarkan UNECE (1994) menyatakan bahwa klasifikasi standar kandungan aluminium dalam pH 6.5 untuk kualitas air permukaan dibagi menjadi 5 kelas, yakni:

- Kelas 1 di bawah batasan konsentrasi normal aluminium yang ada di dalam permukaan air, yakni $< 1.6 \mu\text{g/L}$
- Kelas 2 di bawah batasan konsentrasi normal aluminium yang ada di dalam permukaan air, yakni $< 1.6\text{-}3.2 \mu\text{g/L}$
- Kelas 3 di bawah nilai kronis dan akut untuk konsentrasi aluminium yang ada di dalam permukaan air, yakni $3.2\text{-}5 \mu\text{g/L}$
- Kelas 4 memiliki konsentrasi aluminium yang ada di dalam permukaan air mencapai kronis tetapi belum mencapai kondisi toksik, yakni $5\text{-}75 \mu\text{g/L}$
- Kelas 5 memiliki konsentrasi aluminium yang ada di dalam permukaan air mencapai kondisi toksik, yakni $> 75 \mu\text{g/L}$

2.14 Penelitian Terdahulu

- Lumpur alum dapat diolah kembali menjadi alumina (Al_2O_3) melalui proses *recovery* yakni asidifikasi. Alumina yang diperoleh dari hasil *recovery* lumpur alum tersebut dapat

digunakan untuk membuat tawas cair. Tawas cair didapatkan setelah mereaksikan alumina dengan asam sulfat pada reaktor yang disertai dengan pangadukan dan pemanasan (Budi dan Suherman, 2005).

- Pengolahan lumpur alum secara fisik yakni lumpur alum digunakan sebagai bahan dasar pembuatan batu bata. Hasil dari penelitian ini yakni masih terdapat kandungan Al_2O_3 sebesar 35.03% berat (Faris dan Saeed, 2014).
- *Aspergillus niger* mampu untuk menurunkan konsentrasi aluminium pada *iron slime* sebanyak 38.1% (Pradhan et al., 2006).
- *Pseudomonas fluorescens* mampu menurunkan konsentrasi aluminium pada air yang terkontaminasi aluminium sebesar 65.1 % (Appanna et al., 1996)
- Kombinasi *Pseudomonas sp.* dan *Aspergillus sp.* mampu menurunkan kadar BOD dalam minyak mentah sebesar 88,09% lebih efisien dibandingkan dengan *Pseudomonas sp.* dan *Aspergillus sp.* (Obahiagbon et al., 2014)
- Kombinasi *Pseudomonas sp.* dan *Aspergillus sp.* mampu menurunkan kadar COD pada *distillery spent wash* sebesar 59% (Nikam et al., 2014)
- Penambahan konsorsia inokulan mikroba dalam 30% serbuk gergaji (*bulking agent*) pada konsentrasi tanah 50% dengan cemaran *oil sludge* 20% memberikan efisiensi degradasi TPH optimal sebesar 81,32% dibandingkan dengan menggunakan *bulking agent* berupa *sludge* sisa biogas dan kompos (Retno dan Mulyana, 2013).
- Bioremediasi dengan penambahan serbuk gergaji halus sebanyak 500 gram menghasilkan penurunan TPH hingga 44% dibandingkan dengan bioremediasi tanpa menggunakan serbuk gergaji ataupun *bulking agent* lainnya yakni hanya menghasilkan penurunan TPH sebesar 20% (Putri dkk., 2014)

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3

METODE PENELITIAN

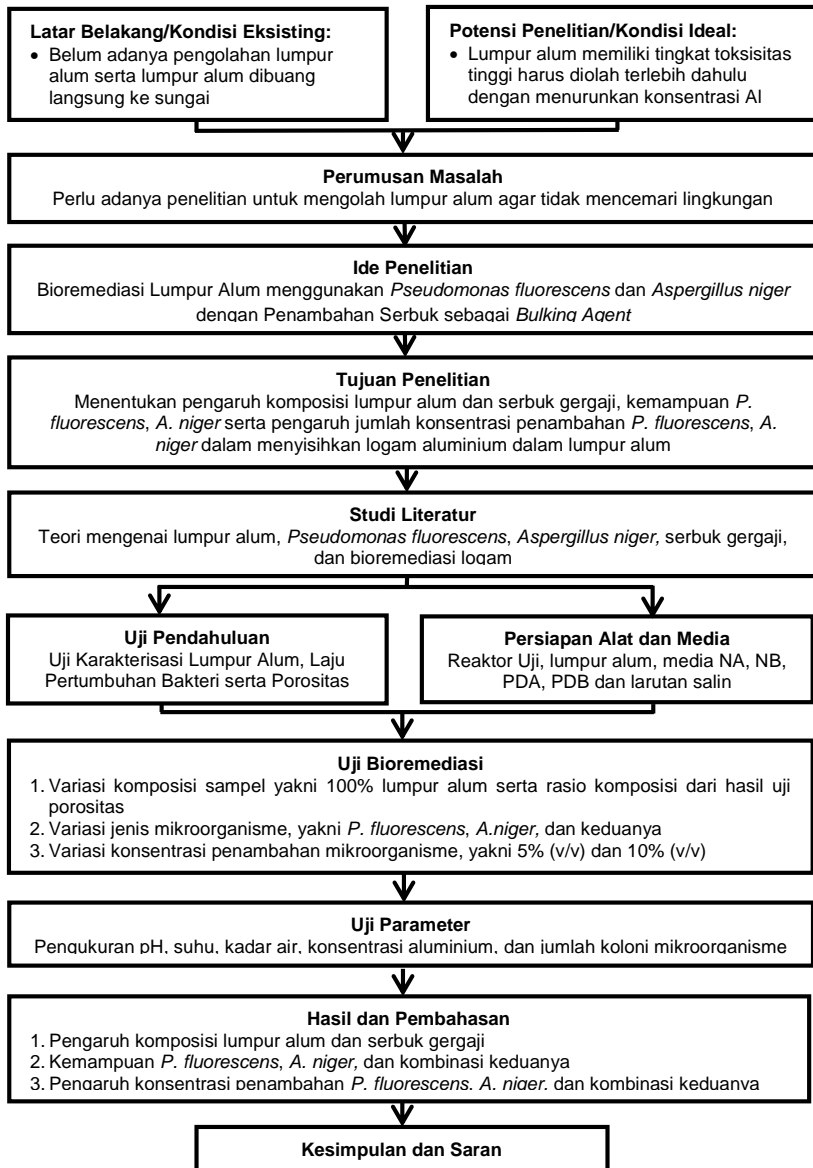
3.1 Kerangka Penelitian

Metode penelitian ini dibuat untuk memudahkan dalam penelitian dan berjalan sistematis sesuai dengan waktu yang ditentukan. Metode penelitian dibentuk dalam kerangka penelitian sebagai gambaran awal tahap penelitian. Kerangka penelitian digunakan sebagai gambaran awal dalam tahap penelitian sehingga dapat memudahkan dalam melakukan penelitian dan penulisan dalam laporan, memudahkan dalam memahami penelitian yang akan dilakukan serta sebagai pedoman dalam melakukan penelitian, sehingga kesalahan dapat diminimalisasi.

Penelitian ini akan menganalisis kemampuan *Pseudomonas fluorescens* dan *Aspergillus niger* dalam menyisihkan logam aluminium yang berasal dari lumpur alum. Sampel lumpur alum diambil dari unit *accelerator* pada proses pengolahan air minum. Parameter yang diuji yakni pH, suhu, kadar air dan aluminium. Variabel yang digunakan adalah variasi komposisi lumpur alum dan serbuk gergaji serta variasi jenis mikroorganisme. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium yang akan dilakukan di Laboratorium Energi ITS dan Laboratorium Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS. Berdasarkan uraian diatas maka dapat dilihat kerangka penelitian pada Gambar 3.1.

3.2 Ide Penelitian

Penelitian ini membahas tentang metode bioremediasi lumpur alum dengan menggunakan *Pseudomonas fluorescens* dan *Aspergillus niger*. Bakteri dan fungi yang berperan dalam agen bioremediasi logam memiliki mekanisme biotransformasi, bioadsorpsi, dan bioakumulasi baik secara fisik, mekanis maupun enzimatik. Variabel dalam penelitian ini adalah perbandingan komposisi lumpur alum dan serbuk gergaji, jenis mikroorganisme serta jumlah konsentrasi penambahan mikroorganisme. Parameter yang akan diukur yakni pH, suhu, kadar air, konsentrasi logam aluminium dan jumlah koloni bakteri dan jamur.



Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian

3.3 Studi Literatur

Studi literatur penelitian bertujuan untuk mendukung dan membantu ide penelitian serta meningkatkan pemahaman yang lebih jelas terhadap penelitian yang akan diteliti. Sumber literatur berasal dari peraturan, *text book*, jurnal penelitian internasional maupun nasional, makalah seminar, *review journal*, prosiding, disertasi dan tugas akhir yang berhubungan dengan penelitian. Literatur yang dibutuhkan pada penelitian ini adalah karakteristik lumpur alum, logam aluminium, dampak pencemaran logam aluminium, *Pseudomonas fluorescens*, *Aspergillus niger*, bioremediasi logam, pertumbuhan mikroorganisme, faktor pertumbuhan mikroorganisme, media substrat perkembangan mikroorganisme, pengaruh penambahan *bulking agent*, dan penelitian terdahulu.

3.4 Persiapan Penelitian

Tahap persiapan penelitian adalah tahapan untuk menyiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan saat penelitian, *re-growth* bakteri dengan memindahkan bakteri dari media inokulan untuk memperbanyak jumlah bakteri serta menjaga agar inokulat bakteri tidak mati selama proses penelitian berlangsung. Tahap persiapan penelitian yang dilakukan sebagai berikut:

1. Pengambilan Sampel Lumpur Alum

Pengambilan sampel pada penelitian ini menggunakan sampel sesaat (*grab sample*). Sampel sesaat merupakan sampel yang mewakili keadaan lumpur pada suatu tempat. Apabila lumpur mempunyai karakteristik tidak banyak berubah di dalam satu periode atau di dalam batas jarak waktu tertentu, maka contoh sesaat tersebut cukup mewakili keadaan waktu dan tempat tersebut. Prosedur pengambilan sampel pada penelitian ini mengacu pada Hadi (2005), yang meliputi pewadahan sampel, selang waktu antara sampling dan analisa, dan pengawetan sampel jika diperlukan.

2. Uji Karakterisasi Lumpur Alum

Uji karakterisasi lumpur alum menggunakan metode pengujian yakni destruksi basah. Metode destruksi basah

dapat dilihat pada Lampiran 1. Lumpur alum dianalisis kadar air, pH, suhu dan massa jenisnya. Pengukuran kadar air berdasarkan metode gravimetri yakni selisih berat cawan awal dan akhir (setelah dimasukkan ke dalam oven 105°C) dengan rumus empiris yakni:

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{(a-b)}{a} \dots\dots\dots(1)$$

(Noriko dkk., 2012)

Keterangan:

a = massa sampel awal

b = massa sampel setelah dikeringkan

Sedangkan perhitungan massa jenis lumpur alum dengan rumus empiris sebagai berikut:

$$\rho = \frac{m}{v} \dots\dots\dots(2)$$

(Antika dkk., 2012)

Keterangan:

ρ = massa jenis sampel (kg/m^3)

m = massa sampel (kg)

v = volume sampel (m^3)

3. Pembuatan Media Nutrient Agar (NA)

Pembuatan media Nutrient Agar (NA) digunakan sebagai substrat atau media tumbuh bakteri pada uji laju pertumbuhan dan jumlah mikroorganisme. Pembuatan media NA dibutuhkan 20 gram NA bubuk (Merck, Jerman) untuk satu liter media. NA bubuk dilarutkan dengan aquades (OneMed, Indonesia) dengan diaduk dan dipanaskan diatas kompor listrik (Maspion S-301, Indonesia). Selanjutnya NA yang telah larut dituangkan ke dalam tabung reaksi (Pyrex, Jerman) dan cawan petri (Cover, USA).

Media di dalam tabung reaksi sebagai media miring dan dibutuhkan sebanyak 10 ml NA setiap tabung reaksi. Kemudian media NA tersebut dimiringkan dengan menggunakan landasan balok kecil hingga media miring

tersebut menjadi padat. Setelah itu media NA miring diberi penutup kapas pada bagian mulut tabung agar terhindar dari kontaminan. Media Nutrient Agar (NA) digunakan sebagai nutrisi untuk melakukan *re-growth* pada isolat bakteri.

Media di dalam cawan petri sebagai media datar dan dibutuhkan sebanyak 15 ml NA setiap cawan petri. Penambahan media NA cair pada cawan petri dilakukan secara aseptik. Setelah itu media NA datar dibungkus kertas coklat untuk menghindarkan terbentuknya uap air pada media datar tersebut.

4. Pembuatan Media Nutrient Broth (NB)

Pembuatan media Nutrient Broth (NB) digunakan sebagai media atau substrat bakteri pada uji laju pertumbuhan bakteri. Pembuatan media NB dibutuhkan 8 gram NB bubuk (Merck, Jerman) untuk 1 liter media. NB bubuk dilarutkan dengan aquades (OneMed, Indonesia) dengan cara diaduk untuk melarutkan NB. Setelah itu dilakukan penuangan ke dalam erlenmeyer (Pyrex, Jerman) sesuai dengan kebutuhan. Media NB digunakan pada tahap persiapan penelitian dan tahap pelaksanaan penelitian.

5. Pembuatan Media Potato Dextrose Agar (PDA)

Pembuatan media Potato Dextrose (PDA) digunakan sebagai substrat atau media tumbuh bakteri pada uji laju pertumbuhan dan jumlah mikroorganisme. Pembuatan media PDA dibutuhkan 40 gram PDA bubuk (Merck, Jerman) untuk satu liter media. PDA bubuk dilarutkan dengan aquades (OneMed, Indonesia) dengan diaduk dan dipanaskan di atas kompor listrik (Maspion S-301, Indonesia). Selanjutnya PDA yang telah larut dituangkan ke dalam tabung reaksi (Pyrex, Jerman) dan cawan petri (Cover, USA).

Media di dalam tabung reaksi sebagai media miring dan dibutuhkan sebanyak 10 ml PDA setiap tabung reaksi. Kemudian media PDA tersebut dimiringkan dengan menggunakan landasan balok kecil hingga media miring tersebut menjadi padat. Setelah itu media PDA miring diberi penutup kapas pada bagian mulut tabung agar

terhindar dari kontaminan. Media Potato Dextrose Agar (PDA) digunakan sebagai nutrisi untuk melakukan *re-growth* pada isolat bakteri.

Media di dalam cawan petri sebagai media datar dan dibutuhkan sebanyak 15 ml PDA setiap cawan petri. Penambahan media PDA cair pada cawan petri dilakukan secara aseptik. Setelah itu media PDA datar dibungkus kertas coklat untuk menghindarkan terbentuknya uap air pada media datar tersebut.

6. Pembuatan Media Potato Dextrose Broth (PDB)

Pembuatan media Potato Dextrose Broth (PDB) digunakan sebagai media atau substrat bakteri pada uji laju pertumbuhan bakteri. Pembuatan media PDB dibutuhkan 24 gram PDB bubuk (Merck, Jerman) untuk 1 liter media. PDB bubuk dilarutkan dengan aquades (OneMed, Indonesia) dengan cara diaduk untuk melarutkan PDB. Setelah itu dilakukan penuangan ke dalam erlenmeyer (Pyrex, Jerman) sesuai dengan kebutuhan. Media NB digunakan pada tahap persiapan penelitian dan tahap pelaksanaan penelitian.

7. Sterilisasi Alat Uji dan Media

Alat yang digunakan dalam proses sterilisasi alat uji dan media adalah *autoclave* (ASC, Jerman). Alat yang akan disterilkan dengan menggunakan *autoclave* dibungkus dengan kertas coklat dan direkatkan dengan karet. Pembungkusan tersebut bertujuan untuk menghindari masuknya uap air pada alat yang disterilisasi. Alat yang telah dibungkus kertas coklat dan dimasukkan ke dalam *autoclave*.

Media NA, NB, PDA, dan PDB yang akan digunakan saat penelitian disterilisasi dengan *autoclave*. Sterilisasi alat uji dan media ini bertujuan untuk membebaskan media dari semua mikroorganisme atau kontaminan yang dapat mengganggu pada proses penelitian selanjutnya. Alat uji dan media yang telah siap kemudian dimasukkan ke dalam *autoclave* dengan suhu 121°C selama ± 60 menit (Hossain et al., 2012).

8. *Re-growth* Isolat Bakteri dan Jamur

Re-growth isolat bakteri dan jamur bertujuan untuk menjaga indukan bakteri agar dapat berkembang biak lebih banyak, sehingga memiliki cadangan persediaan bakteri dan jamur jika terjadi kesalahan dalam penelitian. Jenis bakteri dan jamur yang digunakan dalam penelitian adalah *Pseudomonas fluorescens* dan *Aspergillus niger*. Kedua jenis mikroorganisme tersebut masing-masing diinokulasikan dari media Nutrient Agar (NA) dan Potato Dextrose Agar (PDA) miring lama ke media NA dan PDA miring yang telah disterilisasi. Proses inokulasi ini dilakukan secara aseptik. Media NA miring yang telah diinokulasikan bakteri dan media PDA miring yang telah diinokulasi jamur disimpan ke dalam inkubator (Memert+, Jerman) dengan suhu 37°C agar bakteri dan jamur tersebut siap untuk digunakan dalam penelitian selanjutnya. Tahapan *re-growth* bakteri dan jamur mengacu pada Machmud (2011) yang telah disesuaikan. Tahapan tersebut dapat dilihat pada Lampiran 2. Analisis ini dilakukan secara duplo.

9. Uji Laju Pertumbuhan Bakteri

Uji laju pertumbuhan bakteri dilakukan untuk mengetahui lama pertumbuhan bakteri serta memperoleh fase eksponensial yang akan digunakan sebagai penentu waktu pada tahap uji logam aluminium (Al). Uji pertumbuhan bakteri ini dengan melakukan pengocokan selama 24 jam. Selama uji pertumbuhan bakteri, dilakukan pengamatan *Optical Density* (OD). Pengambilan sampel analisis pengamatan dilakukan 1 jam sekali selama 24 jam dengan panjang gelombang 600 nm. Tahapan uji pertumbuhan mengacu pada Deepali (2011) yang telah disesuaikan. Tahapan tersebut dapat dilihat pada Lampiran 3.

10. Uji Porositas Sampel

Uji porositas sampel digunakan untuk mengetahui angka pori dari masing-masing sampel, kemudian dipilih satu sampel dengan angka pori tertinggi yang akan digunakan sebagai variabel dalam penelitian. Faktor porositas berpengaruh dalam proses mikroorganisme

melakukan penurunan konsentrasi logam aluminium di dalam sampel. Uji porositas menggunakan metode volumetri dan gravimetri untuk menentukan angka pori dari masing-masing sampel uji yakni 99% lumpur alum: 1% serbuk gergaji, 98% lumpur alum: 2% serbuk gergaji dan 97% lumpur alum: 3% serbuk gergaji.

3.5 Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian meliputi uji penyisihan logam aluminium dan uji semua parameter yakni pH, kadar air, suhu, konsentrasi aluminium dan jumlah mikroorganisme. Pelaksanaan penelitian dilakukan dalam waktu 30 hari. Berikut ini adalah tahapan pelaksanaan penelitian:

1. Uji Bioremediasi Aluminium

Uji bioremediasi dilakukan untuk menentukan persentase dari bakteri dan jamur dalam penyisihan logam aluminium, menentukan pengaruh variasi jenis mikroorganisme dan variasi komposisi lumpur alum dan serbuk gergaji sebagai *bulking agent* terhadap persen penyisihan logam aluminium. Penelitian Deepali (2011) menghasilkan efisiensi penyisihan logam tertinggi pada 96 jam. Mengacu pada penelitian tersebut maka uji bioremediasi dilakukan selama 5 hari untuk melihat penyisihan setelah 96 jam.

Pada penelitian ini variasi komposisi dari lumpur alum dan serbuk gergaji disesuaikan dengan hasil uji porositas. Total sampel yang akan digunakan adalah 500 ml karena disesuaikan dengan kebutuhan dan reaktor yang digunakan. Sedangkan mikroorganisme yang digunakan yakni bakteri *Pseudomonas fluorescens* dan jamur *Aspergillus niger*.

Tahap pertama yang dilakukan adalah memisahkan bakteri dari pertengahan laju pertumbuhan dengan cara *centrifuge* lalu diambil endapannya. Endapan tersebut dicuci dengan larutan NaCl sebanyak 2 kali kemudian diencerkan dengan larutan NaCl sebanyak 1 kali. Larutan salin dan endapan dihomogenkan kemudian diukur absorbansinya hingga mencapai $\pm 0,5$ A. Konsentrasi bakteri dan jamur yang dipakai adalah 5% (v/v) dan 10%

(v/v) berdasarkan penelitian Agarry dan Ajani (2011). Tahapan inokulasi bakteri pada media yang mengandung logam aluminium dapat dilihat pada Lampiran 4. Sedangkan untuk tahap inokulasi jamur adalah menggunakan koloni jamur yang telah diinkubasi selama 3 hari pada media PDA miring. Koloni jamur pada media agar miring ditambahkan 5 ml larutan salin kemudian koloni digores perlahan dengan jarum ose hingga koloni terlepas dari media PDA miring, selanjutnya larutan salin dan koloni jamur *Aspergillus niger* dihomogenkan dan diukur absorbansinya hingga mencapai ± 1 A pada panjang gelombang 405 nm.

2. Uji Parameter

Parameter yang diuji dalam penelitian ini dilakukan sebanyak 24 jam sekali untuk pH, kadar air dan suhu. Pengukuran konsentrasi aluminium diukur 2 kali yakni pada awal dan akhir penelitian sedangkan pengukuran jumlah koloni bakteri dan jamur dilakukan 3 kali yakni pada hari pertama, ketiga dan kelima penelitian. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- a. Pengukuran pH dilakukan dengan pHmeter (CyberScan 510, USA) di Laboratorium Pemulihan Air, Jurusan Teknik Lingkungan ITS.
- b. Pengukuran suhu dilakukan dengan menggunakan termometer (EC 10 PhonLab, USA) di Laboratorium Pemulihan Air Lingkungan, Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS.
- c. Pengukuran kadar air dilakukan dengan mengambil sampel lumpur sebanyak 10 gram ditempatkan dalam cawan porselen. Kadar air dihitung dengan metode gravimetri dan menggunakan rumus (1) di Laboratorium Pemulihan Air, Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS.
- d. Pengukuran Konsentrasi Total Aluminium dengan metode destruksi basah berdasarkan penelitian dapat dilihat pada Lampiran 1 di Laboratorium Pemulihan Air, Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS. Penurunan konsentrasi aluminium dianalisis dengan *Atomic Absorption Spectrometry* (AAS) (Reyleigh WFX 210,

Beijing) di Laboratorium TAKI, Jurusan Teknik Kimia FTI ITS.

- e. Pengukuran jumlah koloni bakteri dan jamur menggunakan metode CFU di Laboratorium Limbah Padat dan B3 Jurusan, Teknik Lingkungan FTSP ITS. Perhitungan metode CFU untuk jamur adalah:

$$N = \frac{\Sigma C}{(n1+0,1 n2)d} \dots\dots\dots(3)$$

(ET ISO 6611:2012)

Keterangan rumus (3):

- ΣC = Total koloni jamur yang terhitung di atas cawan petri dalam rentang 15-150
 $n1$ = Jumlah cawan petri yang dihasilkan di pengenceran pertama
 $n2$ = Jumlah cawan petri yang dihasilkan di pengenceran kedua
 d = Angka pengenceran

Perhitungan metode CFU untuk bakteri menggunakan rumus:

$$N = \frac{\Sigma C}{V \times d} \dots\dots\dots(4)$$

(Sutton, 2011)

Keterangan rumus (4):

- ΣC = Total koloni bakteri yang terhitung di atas cawan petri dalam rentang 30-300
 V = Volume dalam cawan petri (ml)
 d = Angka pengenceran

Tabel 3. 1 Variasi Perlakuan Bioremediasi Aluminium

No	Kode	Variasi			
		Lumpur Alum (%)	Serbuk Gergaji (%)	Jenis Mikroorganisme	Penambahan Mikroorganisme % (v/v)
1	Kontrol 1	100	-	-	-
2	B5LA	100	-	P	5
3	B0LA	100	-	P	10
4	J5LA	100	-	A	5
5	J0LA	100	-	A	10
6	C5LA	100	-	P+A	5
7	C0LA	100	-	P+A	10
8	Kontrol 2	70	30	-	-
9	B5SG	70	30	P	5
10	B0SG	70	30	P	10
11	J5SG	70	30	A	5
12	J0SG	70	30	A	10
13	C5SG	70	30	P+A	5
14	C0SG	70	30	P+A	10

Keterangan Tabel 3.1:

P = 100% *Pseudomonas fluorescens*

A = 100% *Aspergillus niger*

P+A = 50% *P. fluorescens*: 50% *A. niger*

Uji bioremediasi aluminium dilakukan secara duplo sehingga berdasarkan Tabel 3.1, maka kebutuhan reaktor pada penelitian ini sebanyak 28 reaktor. Reaktor yang digunakan adalah wadah kaca 650 ml.

3.6 Hasil dan Pembahasan

Pada bagian hasil dan pembahasan akan ditulis secara deskriptif untuk menjelaskan penelitian akibat pengaruh parameter dan variabel yang telah ditentukan sebelumnya. Dalam hasil penelitian meliputi beberapa hal berikut:

1. Analisis hasil karakterisasi lumpur alum.

2. Analisis angka pori dari 3 variasi perbandingan komposisi lumpur alum dan serbuk gergaji
3. Pembuatan grafik hubungan antara nilai OD dengan waktu hidup bakteri sehingga dapat menentukan kurva laju pertumbuhan bakteri.
4. Pengaruh komposisi mikroorganisme dan konsentrasi penambahan bakteri dan jamur baik tunggal maupun kombinasi keduanya terhadap efisiensi penyisihan logam aluminium.
5. Pengaruh komposisi lumpur alum dan serbuk gergaji terhadap efisiensi penyisihan logam aluminium.
6. Analisis pH, suhu, kadar air, konsentrasi aluminium pada proses penyisihan logam aluminium.
7. Menentukan jumlah bakteri dengan metode CFU dan perhitungan jumlah koloni bakteri dan jamur dengan *Total Plate Counter* (TPC).

3.7 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan disusun berdasarkan hasil analisis data penelitian dan pembahasan. Kesimpulan harus menjawab rumusan masalah dan sesuai dengan tujuan penelitian. Kesimpulan yang dibuat akan memuat jenis dan komposisi bakteri dan jamur yang paling efisien untuk menyisihkan logam aluminium di dalam lumpur alum. Saran diperlukan sebagai penyempurnaan penelitian dan rekomendasi terhadap penelitian terkait untuk meminimalisasi kesalahan dan untuk meningkatkan efisiensi.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan dalam penelitian terdapat tiga tahapan yakni uji karakterisasi lumpur, uji porositas dan uji laju pertumbuhan bakteri *P. fluorescens*. Hasil dari ketiga uji pendahuluan akan dianalisis dan digunakan dalam penelitian utama.

4.1.1 Analisis Karakteristik Lumpur Alum

Uji karakteristik lumpur alum meliputi konsentrasi aluminium, pH, suhu, massa jenis dan kadar air. Penelitian pendahuluan ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik aluminium awal yang akan dipakai sebagai sampel dalam penelitian ini. Berdasarkan rumus (1), maka massa jenis lumpur alum 1240 kg/m^3 . Pengukuran kadar air menggunakan metode gravimetri sehingga diperoleh kadar air lumpur alum sebesar 98%. Pengukuran pH dan suhu sampel lumpur alum secara berturut-turut yakni 8,61 dan 31°C . Konsentrasi aluminium pada lumpur alum yakni 250 mg/L dengan menggunakan metode destruksi basah dan pengukuran melalui AAS.

4.1.2 Analisis Porositas Sampel

Uji porositas pada sampel diperlukan untuk melihat angka pori dari masing-masing sampel uji. Porositas dapat meningkatkan laju biodegradasi logam Aluminium oleh bakteri dan jamur (Retno dan Mulyana, 2013). Sampel yang memiliki angka pori paling tinggi akan digunakan sebagai sampel dalam penelitian. Uji porositas dilakukan pada laboratorium mekanika tanah Jurusan Teknik Sipil ITS. Uji porositas yakni menggunakan 3 jenis sampel yang dibedakan berdasarkan rasio pencampuran antara lumpur alum dan serbuk gergaji. Rasio penambahan serbuk gergaji terbesar yakni 3% serbuk gergaji: 97% lumpur alum didasarkan atas kesesuaiannya terhadap sampel. Pada penambahan serbuk gergaji diatas 3%, sampel menjadi tidak proporsional yakni komposisi serbuk gergaji yang lebih dominan dibandingkan dengan lumpur alum dalam sampel.

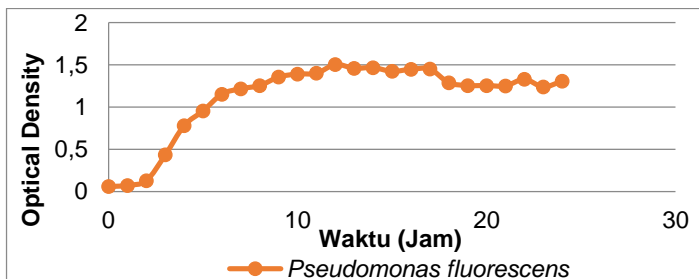
Tabel 4. 1 Porositas Sampel

No	Rasio Sampel	Angka Porositas
1	100% Lumpur Alum	0,0230
2	1% Serbuk Gergaji : 99% Lumpur Alum	0,0540
3	2% Serbuk Gergaji : 98% Lumpur Alum	0,0555
4	3% Serbuk Gergaji : 97% Lumpur Alum	0,0579

Berdasarkan tabel diatas dapat diperoleh angka porositas terbesar yakni pada komposisi sampel dengan rasio 3% serbuk gergaji: 97% lumpur alum sebesar 0,0579 yang selanjutnya digunakan sebagai salah satu sampel penelitian.

4.1.3 Analisis Laju Pertumbuhan Bakteri *P. fluorescens*

Uji pertumbuhan bakteri dilakukan untuk mengetahui sifat pertumbuhan bakteri melalui kurva pertumbuhan bakteri. Dalam kurva pertumbuhan bakteri terdapat fase lag, eksponensial, stasioner, dan kematian. Setengah waktu eksponensial akan digunakan pada penelitian utama yakni saat inokulasi bakteri ke dalam reaktor. Hasil pengukuran laju pertumbuhan bakteri *Pseudomonas fluorescens* dengan parameter *Optical Density* (OD) dapat dilihat pada gambar 4.1.

**Gambar 4. 1 Kurva Laju Pertumbuhan *P. fluorescens***

Pada Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa fase lag *Pseudomonas fluorescens* terjadi pada jam 0 hingga jam ke-2. Fase lag adalah

fase dimana bakteri melakukan sintesa molekul-molekul yang dibutuhkan untuk pertumbuhan dan pembelahan sel serta enzim metabolisme yang diperlukan (Sarhini, 2012). Selanjutnya untuk fase eksponensial terjadi pada jam ke-2 hingga jam ke-12. Hal tersebut ditandai terjadi kenaikan nilai *optical density* hingga jam ke-12. Menurut Hamdiyati (2011) bahwa fase eksponensial adalah fase saat sel mikroorganisme dalam keadaan stabil dan aktif membelah diri. Fase stasioner terjadi mulai jam ke-12 hingga jam ke-24, yakni ditunjukkan dengan penambahan nilai absorbansi yang relatif kecil.

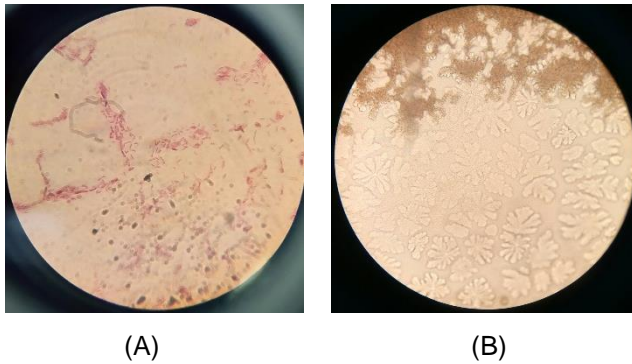
Fase kematian tidak terlihat pada Gambar 4.1, dikarenakan nilai absorbansi cenderung mengalami kenaikan. Menurut Dwipayana dan Ariesyady (2010), bahwa uji laju pertumbuhan bakteri dengan pengukuran optical density merupakan cara pengukuran tidak langsung. Pada pengukuran ini tidak dapat dibedakan antara bakteri yang mati dan hidup.

4.2 Penelitian Utama

Penelitian utama dilakukan selama 5 hari yakni dengan pengukuran beberapa parameter suhu, kadar air, pH, total koloni bakteri dan jamur serta penyisihan konsentrasi aluminium.

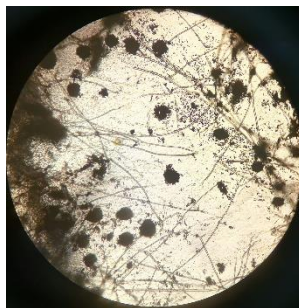
4.2.1 Analisis Total Koloni Bakteri dan Jamur

Analisis total koloni bakteri dan jamur digunakan untuk mengetahui jumlah bakteri dan jamur yang ada di dalam sampel uji. Dalam penghitungan total koloni bakteri dan jamur digunakan metode CFU (Colony Forming Unit). Jumlah koloni bakteri diencerkan hingga 10^5 , 10^6 , dan 10^7 sedangkan untuk jamur diencerkan hingga 10^2 , 10^3 , dan 10^4 . Pengenceran tersebut bertujuan agar jumlah koloni bakteri dan jamur yang terbentuk berada pada rentang 30-300 koloni dan untuk jamur berada pada rentang 15-150 koloni. Proses inkubasi dilakukan selama 24 jam untuk bakteri dan jamur selama 2 hari (sebelum kemunculan hifa) agar mempermudah penghitungan. Bakteri *Pseudomonas fluorescens* memiliki sel berbentuk batang dengan bentuk koloni *irregular*. Hasil pengamatan mikroskop dengan perbesaran 100 kali untuk bentuk koloni dan perbesaran 1000 kali untuk bentuk sel *Pseudomonas fluorescens*. Hasil pengamatan dapat dilihat pada gambar 4.2.



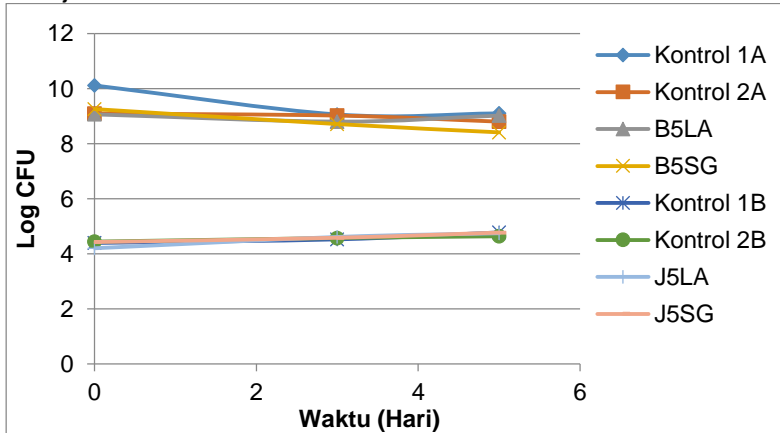
Gambar 4. 2 Bentuk Sel dan Koloni Bakteri *Pseudomonas fluorescens*. (A) Bentuk Sel *Pseudomonas fluorescens*. (B) Bentuk Koloni *Pseudomonas fluorescens*

Aspergillus niger masuk dalam filum ascomycotina karena spora seksualnya diproduksi dalam struktur kantung yang disebut dengan askus. Perkembangbiakan secara asexual terjadi pada konidia yang berbentuk bola bercabang yang berfungsi sebagai penghasil spora sekaligus sebagai penyangga konidium (Rosmadewi, 2015). Hasil pengamatan koloni *Aspergillus niger* dapat dilihat pada Gambar 4.3. Pengamatan dilakukan melalui mikroskop dengan perbesaran 100 kali.



Gambar 4. 3 Bentuk Koloni Jamur *Aspergillus niger*.

Adapun hasil pengamatan untuk metode perhitungan koloni bakteri atau jamur disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.4 untuk penambahan 5% v/v bakteri atau jamur dan pada Gambar 4.5 untuk penambahan 10% v/v bakteri atau jamur.

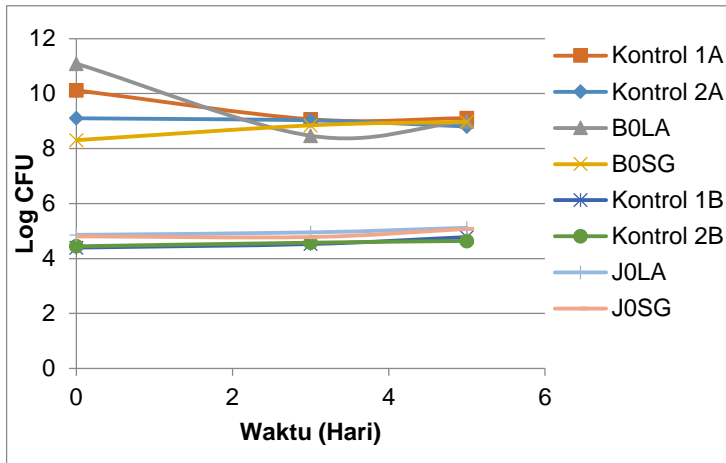


Gambar 4. 4 Jumlah Koloni Bakteri dan Jamur Penambahan 5% v/v

Pada Gambar 4.4 diketahui bahwa pertumbuhan kontrol yakni Kontrol 1A, 2A, 1B, dan 2B terdapat bakteri dan jamur indigenous yang terdapat pada lumpur alum maupun serbuk gergaji. Hal ini dikarenakan pada awal penelitian lumpur alum dan serbuk gergaji tidak disterilkan. Hal ini dilakukan agar sampel tersebut dapat menjadi kontrol dalam pengaruh penambahan bakteri dan jamur (augmentasi) terhadap kadar penyisihan Al.

Selanjutnya pada reaktor J5LA dan J5SG terjadi kenaikan jumlah koloni jamur selama pengukuran pada awal, tengah dan akhir penelitian. Hal tersebut dapat disimpulkan bahwa jamur mampu beradaptasi dari waktu awal inokulasi ke dalam sampel uji. Sebaliknya untuk reaktor B5LA dan B5SG menunjukkan bahwa terjadi penurunan koloni bakteri di pengukuran hari ketiga dan mengalami kenaikan pada hari kelima. Penurunan tersebut menunjukkan bahwa bakteri mulai menyesuaikan dan beradaptasi dengan sampel uji.

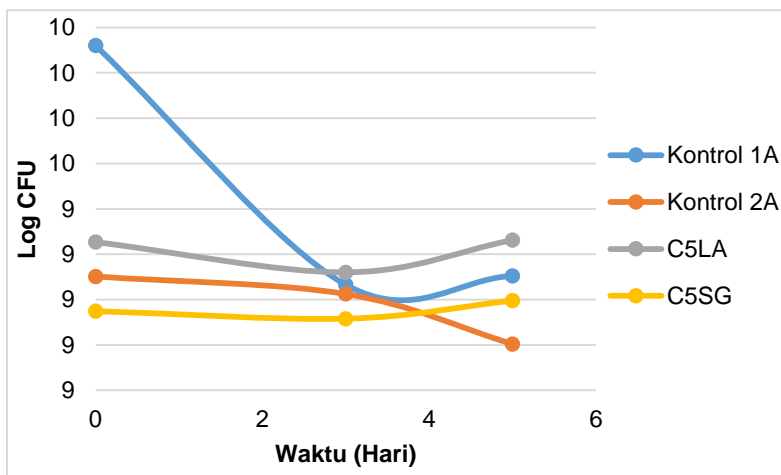
Jumlah koloni bakteri terbesar yang hidup pada akhir pengukuran yakni pada reaktor B5SG dan untuk jamur pada reaktor J5SG.



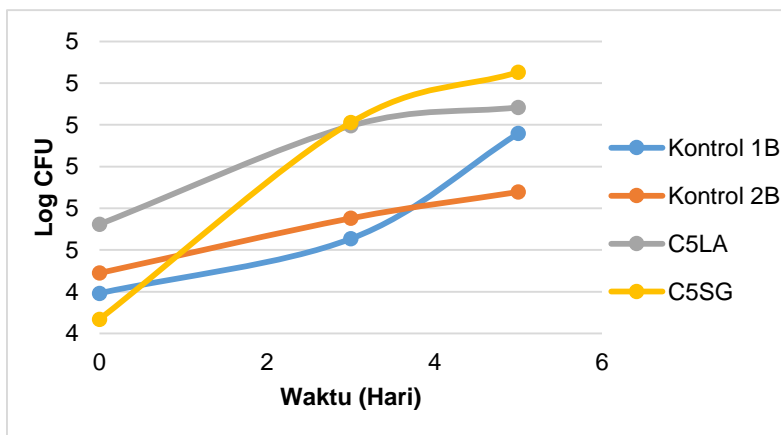
Gambar 4. 5 Jumlah Koloni Bakteri dan Jamur Penambahan 10% v/v

Selanjutnya, pada Gambar 4.5 ditunjukkan bahwa pada B0SG untuk bakteri dan J0LA untuk jamur mengalami kenaikan dari awal hingga akhir pengukuran total koloni bakteri dan jamur. Hal ini mengindikasikan bahwa bakteri dan jamur dalam kedua reaktor tersebut mampu beradaptasi dengan cepat dari awal hingga akhir penelitian. Kemudian pada reaktor B0LA dan J0SG menunjukkan penurunan pada hari ketiga pengukuran dan mengalami kenaikan kembali pada pengukuran hari kelima. Hal ini menunjukkan bahwa, bakteri dan jamur masih dalam proses beradaptasi terhadap sampel uji di hari ketiga selanjutnya bakteri dan jamur berhasil beradaptasi ditunjukkan dengan kenaikan pengukuran total koloni di hari kelima.

Hasil pengamatan untuk metode perhitungan koloni kombinasi bakteri dan jamur disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.6 untuk penambahan 5% v/v bakteri atau jamur dan pada Gambar 4.7 untuk penambahan 10% v/v bakteri atau jamur



(A)

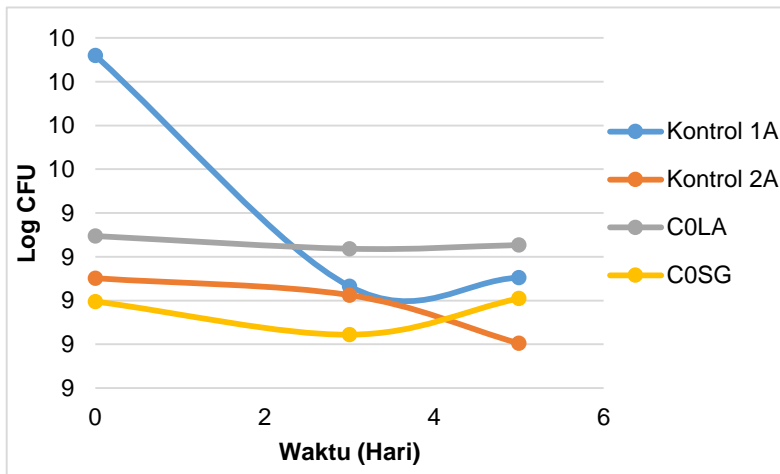


(B)

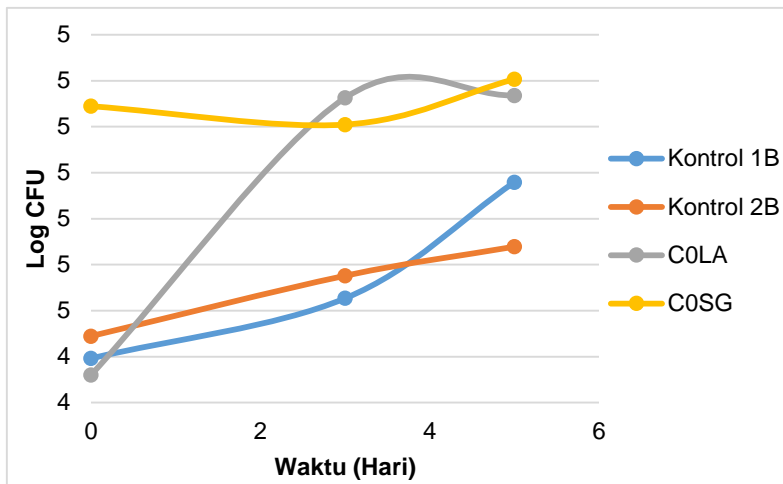
Gambar 4. 6 Jumlah Koloni Kombinasi Bakteri dan Jamur Penambahan 5% v/v. (A) Jumlah Koloni *Pseudomonas fluorescens*. (B) Jumlah Koloni *Aspergillus niger*

Pada Gambar 4.6 (A) menunjukkan bahwa pada reaktor kontrol 1A dan 2A menunjukkan adanya bakteri indigenous sedangkan untuk kontrol 1B dan 2B menunjukkan adanya jamur indigenous yang terdapat pada sampel. Pengukuran koloni bakteri di reaktor C5LA dan C5SG mengalami penurunan pada hari ketiga. Hal ini disebabkan karena bakteri mengalami masa adaptasi dengan sampel lumpur alum dan serbuk gergaji di hari ketiga. Namun jumlah koloni bakteri pada reaktor C5LA dan C5SG naik kembali pada hari kelima karena bakteri sudah mulai bisa beradaptasi dengan sampel uji.

Jumlah koloni bakteri paling banyak ada pada reaktor C5LA sedangkan pada Gambar 4.6 (B) untuk koloni jamur paling banyak pada reaktor C5SG. Pada serbuk gergaji terdapat bakteri patogen yang menjadi kompetitor dari bakteri *Pseudomonas fluorescens*. Sehingga terjadi perebutan nutrisi dan cenderung saling meniadakan (Duffy et al., 2003).



(A)



(B)

Gambar 4. 7 Jumlah Koloni Kombinasi Bakteri dan Jamur Penambahan 10% v/v. (A) Jumlah Koloni *Pseudomonas fluorescens*. (B) Jumlah Koloni *Aspergillus niger*

Gambar 4.7 (A) menunjukkan bahwa jumlah koloni bakteri pada reaktor C0LA dan C0SG menurun di hari ketiga, namun naik kembali di hari kelima. Hal ini disebabkan karena *Pseudomonas fluorescens* mengalami proses adaptasi dengan sampel lumpur alum dan serbuk gergaji. Sedangkan pada pengukuran jumlah koloni jamur pada Gambar 4.7 (B) menunjukkan bahwa *Aspergillus niger* pada reaktor C0SG mengalami penurunan di hari ketiga dan kenaikan kembali di hari kelima. Hal ini juga disebabkan adanya proses adaptasi oleh jamur *Aspergillus niger* terhadap sampel uji pada hari ketiga kemudian kenaikan di hari kelima menunjukkan bahwa *Aspergillus niger* berhasil menyesuaikan diri di dalam sampel uji,

Keterangan Gambar 4.4, 4.5, 4.6 dan 4.7:

Kontrol 1A = Kontrol Bakteri dalam 100% Lumpur Alum

Kontrol 2A = Kontrol Bakteri dalam 97% Lumpur Alum: 3%

Serbuk Gergaji

Kontrol 1B = Kontrol Jamur dalam 100% Lumpur Alum

Kontrol 2B = Kontrol Jamur dalam 97% Lumpur Alum: 3%

Serbuk Gergaji

B = Penambahan Bakteri *Pseudomonas fluorescens*

J = Penambahan Jamur *Aspergillus niger*

C = Penambahan Kombinasi Bakteri *Pseudomonas fluorescens* dan Jamur *Aspergillus niger* dengan perbandingan 1:1

5 = Penambahan 5% v/v Bakteri atau Jamur

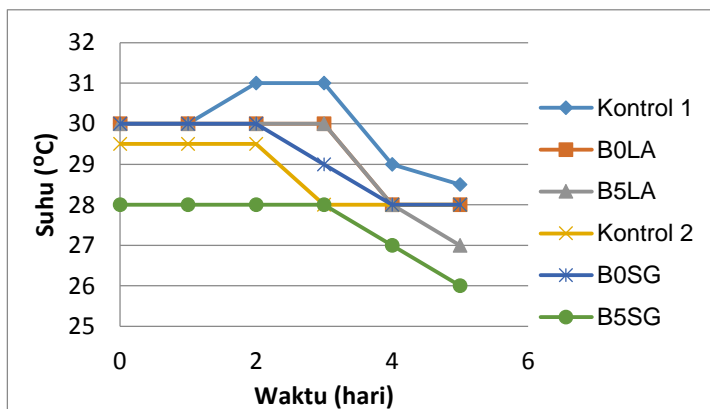
0 = Penambahan 10% v/v Bakteri atau Jamur

LA = 100% Lumpur Alum

SG = 97% Lumpur Alum: 3% Serbuk Gergaji

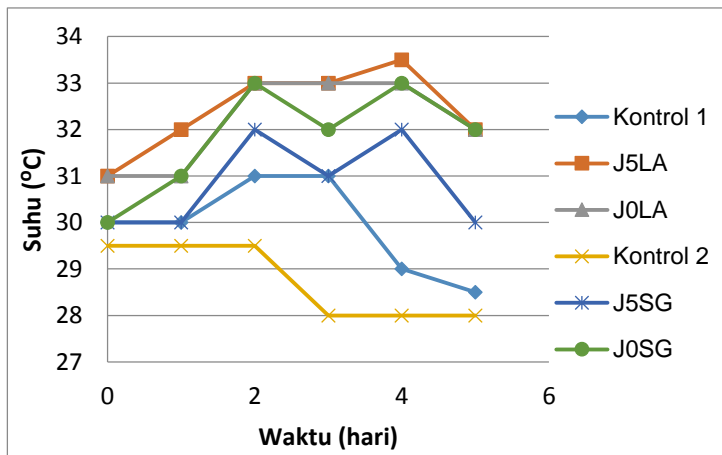
4.2.2 Analisis Suhu, pH, dan Kadar Air

Parameter lain yang diukur dalam uji bioremediasi aluminium oleh bakteri dan jamur adalah pH, suhu dan kadar air. pH, suhu dan kadar air mampu mempengaruhi proses penurunan Al oleh bakteri maupun jamur. Pengukuran suhu dilakukan setiap 24 jam sekali. Dapat dilihat pada Gambar 4.8, 4.9, dan 4.10 adalah grafik pengukuran suhu pada saat pelaksanaan penelitian selama 5 hari.



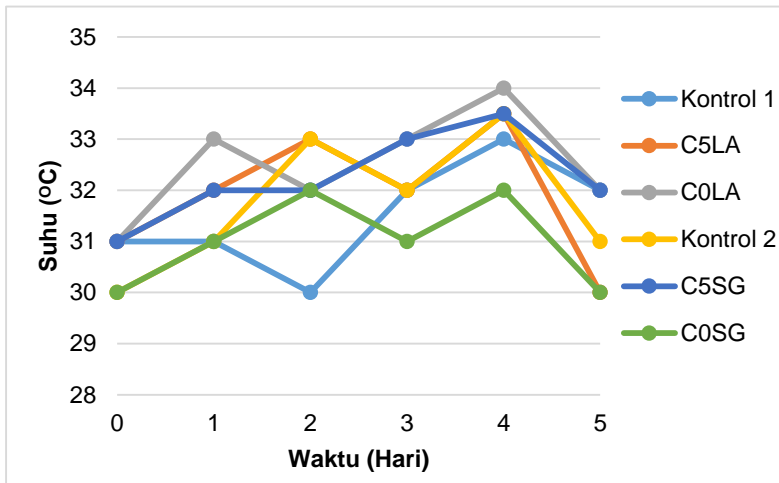
Gambar 4. 8 Suhu *P. fluorescens* pada Uji Bioremediasi

Pada Gambar 4.8 pengukuran suhu pada sampel dengan penambahan bakteri *P. fluorescens* berada pada rentang 26-31 °C. Menurut Krieg dan Holt (1984), bahwa kisaran suhu pertumbuhan optimal *P. fluorescens* 25-30°C dengan suhu pertumbuhan minimum 4°C dan maksimum 41°C. Sehingga dapat dijustifikasi bahwa selama 5 hari waktu penelitian, suhu pada reaktor uji masih terdapat dalam rentang suhu optimal dari pertumbuhan bakteri *Pseudomonas fluorescens*.



Gambar 4. 9 Suhu *A. niger* pada Uji Bioremediasi

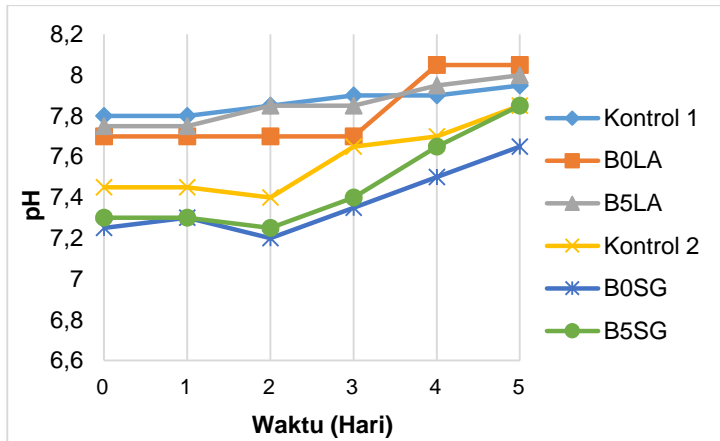
Selanjutnya pada Gambar 4.9 menunjukkan suhu pada reaktor yang ditambahkan jamur *Aspergillus niger*. Rentang suhu pada saat uji bioremediasi yakni pada rentang suhu 28-33,5°C. Hal ini menunjukkan bahwa rentang nilai suhu saat pengukuran masih termasuk dalam rentang suhu pertumbuhan jamur *Aspergillus niger*. Menurut Fiedler dkk (2001), *Aspergillus niger* mampu hidup pada suhu 20°-40°C dengan suhu optimal yakni 37°C.



Gambar 4. 10 Suhu Kombinasi *A. niger* dan *P. Fluorescens* pada Uji Bioremediasi

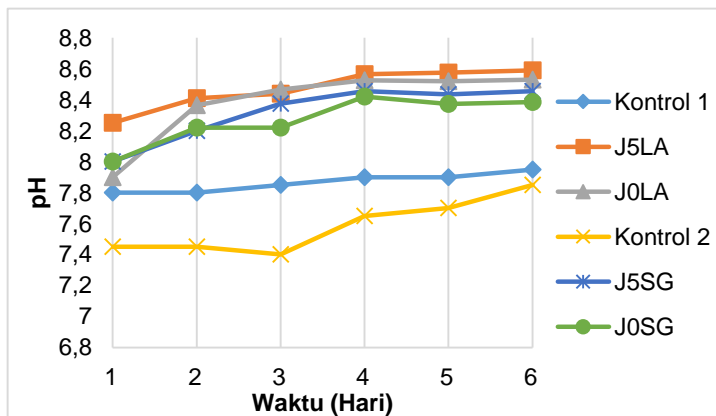
Pada Gambar 4.10 menunjukkan suhu pada reaktor yang ditambahkan jamur *A. niger* dan bakteri *P. fluorescens*. Rentang suhu pada saat uji bioremediasi yakni pada rentang suhu 30-33,5°C. Hal ini menunjukkan bahwa rentang nilai suhu saat pengukuran masih termasuk di dalam rentang suhu pertumbuhan jamur *A. niger* dan bakteri *P. fluorescens*.

Parameter lain yang diukur selama pelaksanaan penelitian adalah pH. Pada kondisi pH optimal maka proses bioremediasi logam yang dilakukan oleh mikroorganisme akan semakin optimal. Pengukuran pH pada saat uji bioremediasi selama 5 hari disajikan dalam Gambar 4.11, 4.12. dan 4.13



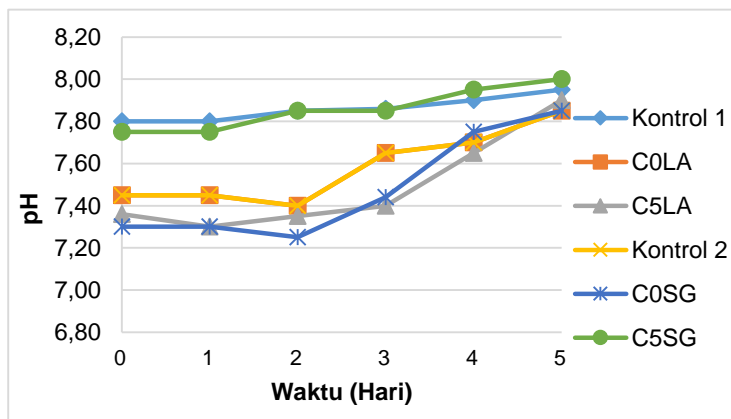
Gambar 4. 11 pH *P. fluorescens* pada Uji Bioremediasi

Pada gambar 4.11 menunjukkan bahwa rentang pH saat uji bioremediasi selama 5 hari yakni 7,25 – 8,05. Menurut Krieg dan Holt (1984), bahwa kisaran pH pertumbuhan optimal untuk bakteri *P. fluorescens* 7 – 8. Hal ini menunjukkan bahwa rentang pH saat uji bioremediasi masih termasuk rentang pH optimal pertumbuhan *P. fluorescens*.



Gambar 4. 12 pH *A. niger* pada Uji Bioremediasi

Gambar 4.12 menunjukkan bahwa rentang pH pada reaktor uji bioremediasi yakni 7,45 – 8,59. Menurut Fiedler dkk. (2001), rentang pH optimum *A. niger* adalah 2-8. Pengukuran pH hari ke-0 hingga ke-4 rata-rata masih dalam range pH optimum *A. niger* tetapi pada hari kelima pH di reaktor J5LA, J0LA, J5SG, dan J0SG cenderung berada di luar pH optimum. Hal ini dikarenakan terjadi penumpukan sel mati jamur sehingga pH cenderung menjadi basa.



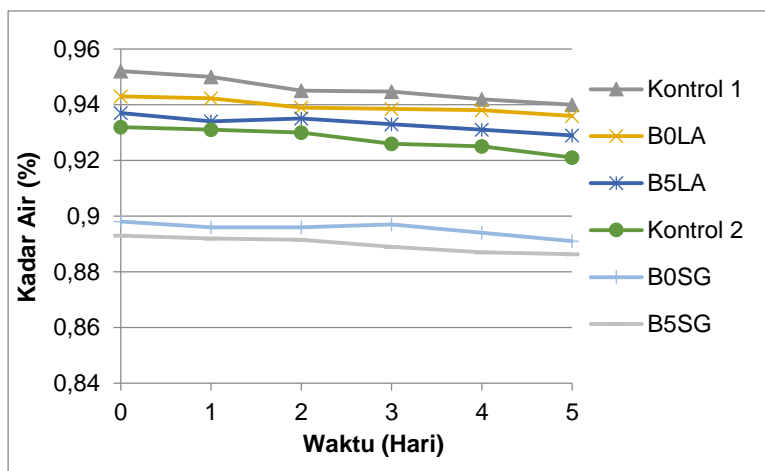
Gambar 4. 13 pH Kombinasi *A. niger* dan *P. Fluorescens* pada Uji Bioremediasi

Gambar 4.13 menunjukkan pH dari reaktor uji bioremediasi dengan kombinasi bakteri *P. fluorescens* dan jamur *A. niger* yang memiliki rentang pH 7,25 – 8,0. Rentang pH ini masih masuk pada rentang pH optimum pertumbuhan bakteri *P. fluorescens* dan jamur *A. niger*.

Pada 4.11, 4.12, dan 4.13 menunjukkan pengukuran pH pada semua reaktor uji cenderung basa hal ini dikarenakan lumpur alum yang memiliki volume dominan pada sampel memiliki rentang pH 5,12 – 8 (Dassanayake et al., 2015). Kenaikan pH dalam semua reaktor uji disebabkan penumpukan sel mati mikroorganisme atau menandakan fase

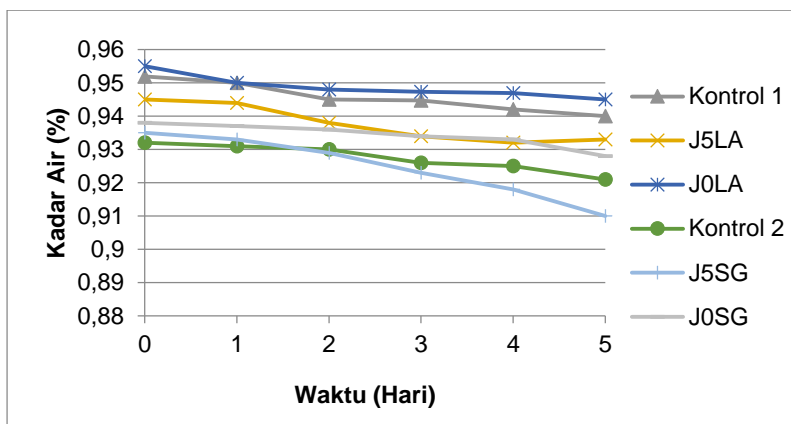
pertumbuhan mikroorganisme telah mendekati fase stasioner (Gaudy dan Gaudy, 1980).

Selain parameter suhu dan pH, terdapat parameter lainnya yakni kadar air. Pengukuran kadar air dengan menggunakan metode gravimetri sesuai dengan rumus (1) sehingga didapatkan kadar airnya dengan disajikan dengan grafik pada Gambar 4.14, 4.15, dan 4.16.



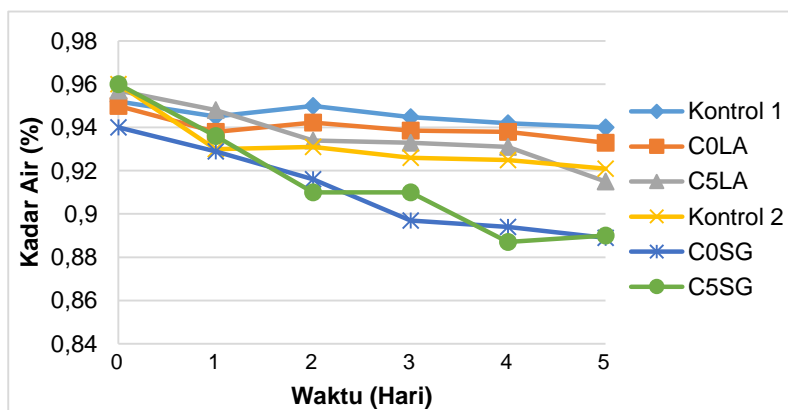
Gambar 4. 14 Kadar Air *P. fluorescens* pada Uji Bioremediasi

Pada Gambar 4.14 menunjukkan pengukuran kadar air selama 5 hari pelaksanaan penelitian. Rentang nilai kadar air untuk bioremediasi oleh bakteri menurut Lumbanraja (2014), yakni berkisar 0.9-1.0. Sedangkan rentang pengukuran kadar air saat uji bioremediasi adalah 89- 95%. Sehingga kadar air dalam reaktor uji masuk dalam rentang kadar air pertumbuhan optimal *P. fluorescens*.



Gambar 4. 15 Kadar Air *A. niger* pada Uji Bioremediasi

Pengukuran kadar air dalam reaktor uji dengan penambahan jamur yang ditunjukkan pada Gambar 4.15. Rentang nilai kadar air yakni 93-95%. Hal ini sesuai dengan kadar air optimal untuk pertumbuhan bakteri *A. niger* dengan rentang 90-100% (Fiedler dkk., 2001). Sehingga kadar air dalam reaktor uji masuk dalam rentang kadar air pertumbuhan optimal *A. niger*.

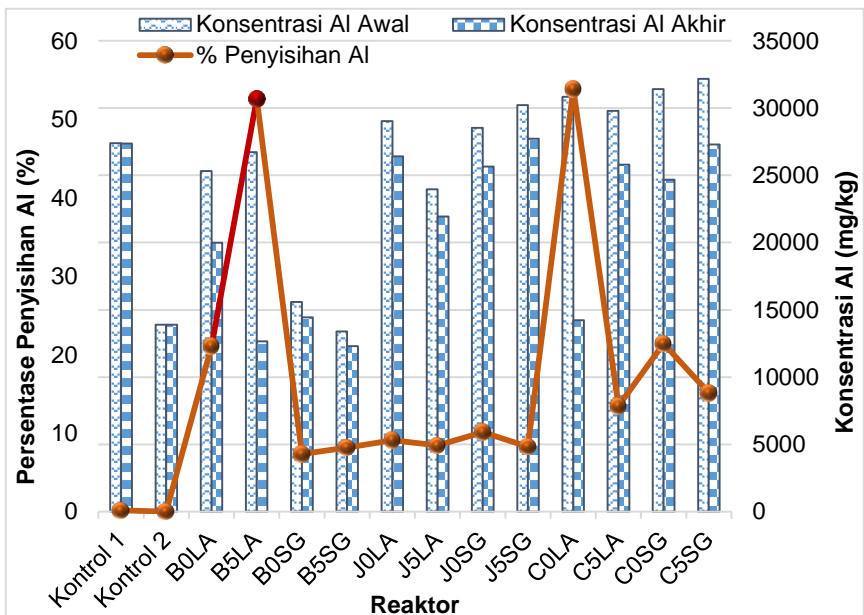


Gambar 4. 16 Kadar Air Kombinasi *A. Niger* dan *P. fluorescens* pada Uji Bioremediasi

Sedangkan pada reaktor yang berisi kombinasi jamur *A. niger* dan *P. fluorescens* yang ditunjukkan pada Gambar 4.16 memiliki rentang kadar air 89%-96%. Kadar air dalam reaktor uji bioremediasi untuk kombinasi jamur dan bakteri berada pada rentang kadar air pertumbuhan optimal *A. niger* dan *P. fluorescens*.

4.2.3 Analisis Penyisihan Konsentrasi Aluminium

Parameter konsentrasi aluminium diukur pada saat awal dan akhir penelitian. Pengukuran ini bertujuan mengetahui persentase penyisihan yang mampu dilakukan oleh bakteri dan jamur dalam sampel yang mengandung logam aluminium. Hasil penyisihan aluminium dan konsentrasi aluminium pada saat awal dan akhir penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.15.



Gambar 4.17 Persentase Penyisihan Konsentrasi Al oleh *P. fluorescens* dan *A. Niger*

Keterangan Gambar 4.17:

- Kontrol 1 = Kontrol tanpa Penambahan Bakteri dan Jamur dengan Sampel 100% Lumpur Alum
- Kontrol 2 = Kontrol tanpa Penambahan Bakteri dan Jamur dengan Sampel 97% Lumpur Alum: 3% Serbuk Gergaji
- B = Penambahan Bakteri *Pseudomonas fluorescens*
- J = Penambahan Jamur *Aspergillus niger*
- C = Penambahan Kombinasi Bakteri *Pseudomonas fluorescens* dan Jamur *Aspergillus niger* dengan perbandingan 1:1
- 5 = Penambahan 5% v/v Bakteri atau Jamur
- 0 = Penambahan 10% v/v Bakteri atau Jamur
- LA = 100% Lumpur Alum
- SG = 97% Lumpur Alum: 3% Serbuk Gergaji

a. Penyisihan Aluminium oleh *Pseudomonas fluorescens*

Berdasarkan Gambar 4.17 menunjukkan bahwa sampel yang mengandung *Pseudomonas fluorescens*, *Aspergillus niger* dan kombinasi keduanya mengalami penurunan konsentrasi aluminium. Hal ini membuktikan bahwa *Pseudomonas fluorescens*, *Aspergillus niger* dan kombinasi keduanya mampu menyisihkan logam aluminium. Pada reaktor Kontrol 1 yakni kontrol yang berisi 100% lumpur alum tanpa adanya penambahan bakteri mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan terjadi reduksi spontan atau adhesi pada permukaan *glassware* yang digunakan (Abdulla et al., 2010). Persentase penyisihan aluminium terbesar pada reaktor C5LA sebesar 53,87%. Dengan persentase terendah adalah reaktor B0SG sebanyak 7,32%.

Pada reaktor yang ditambahkan bakteri *Pseudomonas fluorescens* menunjukkan bahwa penambahan bakteri terbaik ada pada penambahan 5% v/v yakni sebesar 52,65%. Pada perhitungan total koloni bakteri, sampel dengan penambahan bakteri 5% v/v dan 10% v/v menunjukkan fase adaptasi di awal inokulasi, fase adaptasi dapat ditunjukkan dengan menurunnya laju pertumbuhan bakteri di hari ketiga pengukuran.

Menurut Tamat et al. (2015), bahwa penurunan laju pertumbuhan bakteri menyebabkan bakteri menjadi lebih stres

karena logam yang terkandung dalam lumpur alum. Terkait dengan hal tersebut, maka bakteri akan menghasilkan zat polimer ekstraseluler (EPS) untuk melindungi diri dari logam. EPS memiliki muatan negatif (anion) dan akan berinteraksi dengan ion Al^{3+} (kation) kemudian akan menghasilkan garam kompleks EPS. Kompleks ini kemudian akan mengendap. Selama masa adaptasi dengan media yang mengandung Al, maka bakteri akan cenderung memproduksi EPS untuk melindungi diri dari logam. Pada penambahan 5% v/v, jumlah inokulum lebih rendah dibandingkan dengan penambahan 10% v/v sehingga EPS yang akan terbentuk dari bakteri *Pseudomonas fluorescens* akan lebih kecil dibandingkan pada penambahan 10% v/v. Ketika Al^{3+} bereaksi dengan EPS yang dihasilkan oleh bakteri pada penambahan 5% v/v, maka akan lebih banyak sisa Al^{3+} yang belum berikatan dengan EPS yang selanjutnya akan diabsorpsi oleh *Pseudomonas fluorescens*.

Menurut Lemire et al. (2010), Al yang diabsorpsi oleh bakteri *Pseudomonas fluorescens* akan memicu metabolisme baru dalam sel bakteri untuk menghasilkan ATP. Bakteri akan menghasilkan suksinat dan oksalat di dalam metabolisme yang baru. Oksalat digunakan untuk mengabsorpsi dan mendetoksifikasi Al di dalam sel bakteri. Selanjutnya oksalat yang dihasilkan dari proses metabolisme serta Phosphatidylethanolamine (PE) dan lipid yang ada di dalam sel bakteri akan membantu untuk mengisolasi Al dari komponen sel lainnya di dalam vesikel sel. Proses ini disebut dengan vesikularisasi (*vesicularization*). Proses vesikularisasi menyebabkan Al menjadi bentuk gelatin yang tidak terlarut (*insoluble gelatinous precipitate*). *Pseudomonas fluorescens* tidak hanya mengeliminasi tetapi mencegah aluminium untuk tidak diabsorpsi dan berinteraksi dengan sel lain. Selanjutnya dengan penambahan 10% v/v bakteri, maka akan semakin banyak Al yang akan berikatan dengan EPS sehingga akan lebih sedikit sisa Al yang tersedia untuk memicu proses pembentukan ATP yang digunakan sebagai pertumbuhan sel.

Pada sampel 100% lumpur alum memiliki hasil yang lebih optimal dibandingkan dengan sampel 97% lumpur alum: 3% serbuk gergaji untuk sampel yang hanya ditambahkan bakteri *Pseudomonas fluorescens*. Hal ini dikarenakan terjadi ketidakcocokan antara bakteri yang ditambahkan ke dalam reaktor

yakni *Pseudomonas fluorescens*. Pernyataan ini dapat dibuktikan dengan hasil perhitungan total koloni bakteri yakni pada hasil perhitungan koloni bakteri sampel dengan variasi komposisi 97% lumpur alum: 3% serbuk gergaji lebih sedikit dibandingkan dengan hasil perhitungan koloni sampel 100% lumpur alum pada hari terakhir penelitian. Menurut McKellar (2007), bahwa *Pseudomonas fluorescens* bersifat kompetitif terhadap bakteri patogen. Kompetitif terhadap nutrisi yang ada di dalam sampel kemudian antara kedua bakteri tersebut dapat saling meniadakan. Berdasarkan Mahalingam dan Maruthamalai (2014), terdapat 3 jenis bakteri patogen di dalam serbuk gergaji yakni *Escherichia coli*, *Streptococcus spp.*, dan *Clostridium spp.* Jumlah bakteri patogen yang lebih banyak mampu menjadi kompetitor yang lebih unggul dibandingkan dengan bakteri *Pseudomonas fluorescens* yang ditambahkan. Bakteri patogen dapat memberikan respon pertahanan terhadap bakteri kompetitornya. Bakteri patogen akan menghasilkan racun yakni endotoksin sebagai perlindungan kimia sehingga dapat menghambat pertumbuhan bakteri kompetitornya (Duffy et al., 2003).

Pada Gambar 4.17 menunjukkan bahwa persentase penyisihan yang dilakukan oleh *Pseudomonas fluorescens* lebih besar dibandingkan *Aspergillus niger*. Hal ini disebabkan *P. fluorescens* melakukan proses penyisihan Al^{3+} dengan mekanisme aktif intraselular yang mampu menyerap Al^{3+} lebih banyak dibandingkan *Aspergillus niger* yang melakukan biosorpsi pada permukaan selnya (mekanisme pasif) (Lemire et al., 2010). Kemampuan bakteri *Pseudomonas fluorescens* dalam memperbanyak diri dalam waktu yang lebih singkat dari jamur *Aspergillus niger*. Bakteri dapat lebih efisien menurunkan konsentrasi logam di lingkungan karena bakteri menggunakan mekanisme enzimatik (Rajendran et al., 2002). Menurut Beveridge (1989), bakteri membuat biosorban yang sangat baik karena bakteri memiliki rasio yang tinggi pada permukaan dan volume pada dinding sel serta bakteri memiliki kemampuan adsorpsi Al yang baik secara *chemosorption* yakni menggunakan zat polimer ekstraseluler yang akan melibatkan reaksi kimia untuk berlekatan dengan Al^{3+} .

b. Penyisihan Aluminium oleh *Aspergillus niger*

Pada persentase penyisihan oleh *A. niger* yang terbesar adalah pada penambahan 10% v/v yakni sebesar 10,11% pada sampel 97% lumpur alum: 3% serbuk gergaji. Hal ini dikarenakan jumlah jamur yang ditambahkan berbanding lurus dengan tingginya persentase penyisihan yang dilakukan oleh *A. niger*. Kemudian pada perbandingan sampel, sampel 97% lumpur alum: 3% serbuk gergaji memiliki persentase penyisihan lebih besar dari sampel 100% lumpur alum, hal ini dikarenakan pada serbuk gergaji tidak terdapat jamur atau bakteri indigenous yang bersifat kompetitif dengan *A. niger*. Menurut Lang (1995) menyatakan bahwa di dalam serbuk gergaji terdapat substrat lignoselulosa yang berfungsi sebagai senyawa untuk mendukung pertumbuhan fungi di dalam sampel. Ligniselulosa adalah salah satu jenis selulosa atau senyawa organik yang menyusun dinding sel tanaman. *Aspergillus niger* memiliki enzim selulase yang akan memecah selulosa menjadi glukosa untuk proses metabolismenya (Arnata, 2009). Sehingga *Aspergillus niger* mampu memberikan penyisihan aluminium lebih banyak pada sampel 3% serbuk gergaji dan 97% lumpur alum dibandingkan dengan sampel 100% lumpur alum.

c. Penyisihan Aluminium oleh Kombinasi *Pseudomonas fluorescens* dan *Aspergillus niger*

Pada perbandingan variasi mikroorganisme, penyisihan terbesar ada pada kombinasi bakteri *Pseudomonas fluorescens* dan *Aspergillus niger* yakni sebesar 53,87% pada sampel 100% lumpur alum. *Pseudomonas fluorescens* berperan lebih besar dalam menyisihkan Al dibandingkan *Aspergillus niger* karena *Pseudomonas fluorescens* mampu melakukan proses penyisihan Al lebih efektif dibandingkan *Aspergillus niger*. *Pseudomonas fluorescens* lebih efektif menurunkan Al di dalam sampel lumpur alum karena dalam serbuk gergaji terdapat bakteri patogen yang bersifat kompetitif dengan bakteri *Pseudomonas fluorescens*. Bakteri patogen akan mengeluarkan senyawa toksik yakni endotoksin untuk menghambat pertumbuhan bakteri kompetitornya (McKellar, 2007).

Selanjutnya kombinasi dari bakteri *Pseudomonas fluorescens* dan *Aspergillus niger* merupakan simbiosis mutualisme sehingga memiliki penyisihan logam Al paling besar dibandingkan dengan

Pseudomonas fluorescens dan *Aspergillus niger*. Dalam kasus lain, kombinasi *Pseudomonas sp.* dan *Aspergillus sp.* mampu menyisihkan BOD dalam minyak mentah atau *crude oil* lebih efisien dengan penyisihan sebesar 88,09% dibandingkan dengan *Pseudomonas sp.* atau *Aspergillus sp.* (Obahiagbon, 2014).

Pada penambahan 10%v/v dan 5%v/v kombinasi bakteri dan jamur dengan rasio 1:1 untuk setiap penambahannya didapatkan hasil penyisihan yakni pada penambahan 10%v/v kombinasi bakteri-jamur lebih efektif daripada penambahan 5%v/v bakteri-jamur. Hal ini disebabkan karena bakteri *Pseudomonas fluorescens* yang berperan lebih besar dibandingkan *Aspergillus niger* di dalam proses penyisihan Al di dalam 100% lumpur alum dengan penambahan yakni 5% v/v untuk masing-masing bakteri atau jamur. Penambahan 5% v/v bakteri lebih efektif dibandingkan penambahan 10% v/v bakteri seperti pada penjelasan sebelumnya.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan “Bioremediasi Lumpur Alum menggunakan *Pseudomonas fluorescens* dan *Aspergillus niger* dengan Penambahan Serbuk Gergaji sebagai *Bulking Agent*”, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Karakteristik awal lumpur alum dari IPAM Ngagel 2 yakni memiliki konsentrasi aluminium sebesar 250 mg/L, pH sebesar 8,61 dengan suhu 31°C, massa jenis 1240 kg/m³, kadar air sebesar 98% serta angka porositasnya adalah 0,0230.
2. Berdasarkan variasi jenis mikroorganisme yakni dengan penambahan 5% v/v dan 10% v/v bakteri *Pseudomonas fluorescens* maka didapatkan efisiensi penyisihan Al di dalam sampel 100% lumpur alum yakni masing-masing 52,65% dan 21,11% sedangkan efisiensi penyisihan Al pada sampel 97% lumpur alum dan 3% serbuk gergaji yakni masing-masing 8,16% dan 7,32%. Pada penambahan 5% v/v dan 10% v/v jamur *Aspergillus niger* maka didapatkan efisiensi penyisihan Al di dalam sampel 100% lumpur alum yakni masing-masing 8,45% dan 9,08% sedangkan efisiensi penyisihan Al pada sampel 97% lumpur alum dan 3% serbuk gergaji yakni masing-masing 8,27% dan 10,11%. Pada penambahan 5% v/v dan 10% v/v kombinasi bakteri-jamur maka didapatkan efisiensi penyisihan Al di dalam sampel 100% lumpur alum yakni masing-masing 13,46% dan 53,87% sedangkan efisiensi penyisihan Al pada sampel 97% lumpur alum dan 3% serbuk gergaji yakni masing-masing 15,12% dan 21,41%.
3. Bioremediasi yang paling efektif untuk penyisihan aluminium berdasarkan variasi penambahan serbuk gergaji sebagai *bulking agent*, jenis mikroorganisme serta jumlah penambahan mikroorganisme yakni pada penambahan 10% v/v kombinasi *Pseudomonas fluorescens* dan *Aspergillus niger* dalam sampel uji 100% lumpur alum yakni sebesar 53,87%.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil penelitian ini, supaya dapat terjadi perbaikan pada penelitian selanjutnya adalah:

1. Bakteri *Pseudomonas fluorescens* memiliki penyisihan Al yang lebih besar dibandingkan jamur *Aspergillus niger*, sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan bakteri konsorsium agar diperoleh perbandingan efisiensi penurunan Al antara bakteri tunggal dan konsorsium.
2. *Bulking agent* yang digunakan dalam penelitian ini adalah serbuk gergaji namun tidak meningkatkan efektifitas penyisihan Al oleh bakteri tetapi serbuk gergaji mampu meningkatkan efisiensi penyisihan Al oleh jamur sehingga diperlukan penelitian yang menguji variasi *bulking agent* selain serbuk gergaji yang mampu meningkatkan efisiensi penurunan aluminium oleh bakteri dan jamur.
3. Penambahan serbuk gergaji dapat menyebabkan penurunan efisiensi penyisihan Al oleh bakteri *Pseudomonas fluorescens* karena adanya bakteri patogen sehingga diperlukan penelitian untuk mengkarakterisasi mikroorganisme yang ada di dalam serbuk gergaji.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulla, H.M., Kamal, E.M., Mohamed, A.H., dan El-Bassuony, A.D. 2010. Chromium Removal from Tanery Wastewater Using Chemical and Biological Techniques Aiming Zero Discharge of Pollution. *Proceding of Fifth Scientific Environmental Conference*. Zagazig-UNI, 171-183.
- Adams, G.O., Fufeyin T.P., dan Ehinomen I. 2014. Laboratory Scale Bioremediation of Soils from Automobile Mechanic Workshops Using Cow Dung. *Journal of Applied and Environmental Microbiology*, 2 (4), 128-134.
- Adityosulindro, S., Hartono, D.M., dan Pramusinto, A.C. 2013. Evaluasi Timbulan Lumpur dan Perancangan Sistem Pengolahan Lumpur (Studi Kasus: Instalasi Pengolahan Air Minum Cibinong, Jawa Barat). *Jurnal Lingkungan Tropis*, 7 (2), 131-146.
- Aggrary, S.E dan Ajani, A.O. 2011. Evaluation of Microbial Systems for Biotreatment of Textile Waste Effluents in Nigeria: Biodecolourization and Biodegradation of Textile Dye. *Journal of Applied Science Management*, 15 (1), 79-86.
- Appanna, V.D., Gazso, L.G., dan St. Pierre M. 1996. Multiple-metal Tolerance in *Pseudomonas fluorescens* and Biotechnological Significance. *Journal of Biotechnology*, 52 (1), 75-80.
- Ali, M. 2012. Tinjauan Proses Bioremediasi Melalui Pengujian Tanah Tercemar Minyak. Surabaya: UPN Press.
- Antika, L., Julianty, E., Miroah, Nurul, A., dan Hapsari, F. 2012. Pengukuran (Kalibrasi) Volume dan Massa Jenis Aluminium. *Spektra: Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 13(1), 24-28.
- Arnata, I.W. 2009. Teknologi Bioproses Pembuatan Bioetanol dari Ubi Kayu Menggunakan *Trichoderma viride*, *Aspergillus niger*, dan *Saccharomyces cerevisiae*. *Thesis Master, IPB, Bogor*.
- ASM International. (1990). ASM Handbook Volume 2: Properties and Selection: Nonferrous and Special-Purpose Material. Metal Park Ohio: ASM International.

- Az-Zahra, S., Rahmawati, dan Wardhani, E. 2014 Karakteristik Kualitas Air Baku dan Lumpur sebagai Dasar Perencanaan Instalasi Pengolahan Lumpur IPA Badak Singa PDAM Tirtawening Kota Bandung. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 2 (2), 1-10.
- Babatunde, A.O. dan Zhao, Y.Q. 2007. Constructive Approaches Towards Water Treatment Works Sludge Management : an International Review of Beneficial Re-uses. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 37(2),129-164.
- Beveridge, T.J. 1989. The Role of Cellular Design in Bacterial Metal Accumulation and Mineralization. *Annu Rev Microbiol.*, 43:147-171.
- Boaventura, A.R., Duarte, A.S., dan Almeida, M.F. 2000. Alumunium Recovery From Water Treatment Sludge. *International Conference Water Supply and Water Quality*.
- Budi, F.S. dan Suherman. 2005. Recovery Alumina dari Lumpur Alum Limbah PDAM menjadi Tawas Cair. *Laporan Penelitian Universitas Diponegoro*.
- Dassanayake, K.B., Jayasinghe, G.H., dan Hetherington, C. 2015. A Review on Alum Sludge Reuse with Special Reference to Agricultural Applications and Future Challenges. *Waste Management Journal*, 38, 321-335.
- Deepali. 2011. Bioremediation of Chromium (VI) From Textile Industry's Effluent and Contaminated Soil Using *Pseudomonas putida*. *Journal of Energy and Environment*, 2 (1), 24-31.
- Duffy, B., Schouten, A., dan Raaijmakers, J.M. 2003. Pathogen Self Defense: Mechanisms to Counteract Microbial Antagonism, 41, 501-538.
- Dwipayana dan Ariesyady, H.D. 2010. Identifikasi Keberagaman Bakteri pada Lumpur Hasil Pengolahan Limbah Cat dengan Teknik Konvensional. *Program Studi Teknik Lingkungan, ITB, Bandung*.
- ET ISO 6611:2012 tentang Milk and Milk Product – Enumeration of Colony forming Units of Yeast and/or Molds – Colony Count Technique at 25°C.

- Evelyn, J. R. dan Ravisankar, V. 2014. Bioremediation of Chromium Contamination– A Review. *Journal of Research in Earth & Environmental Science*, 1(6), 20-26.
- Eweis, E.1998. Bioremediation Principles. Boston: Mc. Graw Hill.
- Faris, F.G. dan Saeed, A.A. 2014. A New Approach to Reuse Alum Sludge in Brick Manufacturing Using Ball Clay, Silica Fume and Zeolite. *International Conference of Engineering, Information Technology, and Science*, 79-82.
- Fiedler, K., Schutz E., dan Geh, S. 2001. Detection of Microbial Volatile Organic Compounds (MVOCs) Produce by Moulds on Various Materials. *International Journal of Hygiene Environmental Health*, 204, 111-121.
- Fitri, H. 2010. Dampak Pembuangan Lumpur Perusahaan Daerah Air Minum Kota Pontianak Terhadap Kualitas Air Sungai Kapuas. Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Tanjungpura.
- Gaudy, A.F. dan Gaudy, E.T. 1980. Microbiology for Environmental Scientists and Engineers. McGraw-Hill, USA.
- Georgantas, D.A. dan Grigoropoulou, H.P., 2005. Phosphorus Removal from Synthetic dan Municipal Wastewater using Spent Alum Sludge. *Water Science & Technology*, 52, 525-532.
- Guyton, A. C. and Hall J. E. 1996. Textbook of Medical Physiology. Philadelphia: W.B. Saunders Company.
- Hadi, A. 2005. Prinsip Pengelolaan Pengambilan Sampel Lingkungan. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Hamdiyati, Y. 2011. Pertumbuhan dan Pengendalian Mikroorganisme II. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia.
- Hayati, N. 2011. Uji Efektifitas Waste Treatment untuk Bioremediasi Logam Berat dalam Sludge Pabrik Kertas Deinking. Departemen Ilmu Tanah dan Sumber Daya Lahan Institut Pertanian Bogor.
- Hossain, S. M., Balakrishnan V., Rahman, N.N. N. A., Sarker, M.Z.I., Kadir, M.O.A. 2012. Treatment of Clinical Solid Waste Using a Steam Autoclave as a Possible Alternative Technology to Incineration. *International Journal of Environmental Research Public Health*, 9 (3), 855-867.

- Jeyasingh, J., Somasundaram, V., Philip, L., and Bhallamud, S.M. 2010. Bioremediation of Cr(VI) Contaminated Soil/Sludge: Experiment and Development of a Management Model. *Chemical Engineering Journal*, 160 (2), 556-564.
- Krieg, N.R. dan Holt, J.G. 1984. *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. Williams and Wilkins, Baltimore, London.
- Kumar, A., Bisht, B.S., dan Joshi, V.D. 2010. Biosorption of Heavy Metals by Four Microbial Species, *Bacillus spp.*, *Pseudomonas spp.*, *Staphylococcus spp.*, and *Aspergillus niger*. *Journal of Biology Environmental Science*, 4 (12), 97-108.
- Kumar, V., Singh, S., Manhas, A., Negi, P., Singla, S., Kaur, P., Bhadrecha, P., Datta, S., Kalia, A., Joshi, R., Singh, J., Sharma, S., dan Upadhyay, N. 2014. Bioremediation of Petroleum Hydrocarbon by Using *Pseudomonas* Species Isolated from Petroleum Contaminated Soil. *Oriental Journal of Chemistry*, 30 (4), 1771-1776.
- Kumaran, N.S. dan Dharani, G. 2011. Decolorization of Textile Dyes by White Rot Fungi *Phanerocheatae chrysosporium* and *Pleurotus sajor-caju*. *Journal of Applied Technology in Environmental Sanitation*, 1, 361-370.
- Lang, E. 1995. Interaction of white rot fungi and microorganisms leading to biodegradation of soil pollutants. *Fifth International Conf. Contaminated Soils*, 9(5), 1277-1278.
- Lemire, J., Auger, C., Bignucolo, A., Appanna, V.P., dan Appanna, V.D. 2010. Metabolic Strategies Deployed by *Pseudomonas fluorescens* to Combat Metal Pollutants: Biotechnological Prospects. *Research, Technology, and education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology*.
- Lewis, T. E. 1990. *Environmental Chemistry and Toxicity of Aluminium*. Michigan: Lewis Publisher.
- Machmud, M. 2001. Teknik Penyimpanan dan Pemeliharaan Mikroba. *Buletin AgroBio*, 4(1), 24-32.
- Maruthamalai, R.R.P. dan Mahalingam, P.U. 2014. Isolation and Identification of Bacterial Strains From Decayed Sawdust. *Indian Journal of Applied Research*, 11(4), 1-2.

- McKellar, R.C. 2007. Role of Nutrient Limitation in the Competition between *Pseudomonas fluorescens* and *Escherichia coli* O157:H7. *Journal of Food Protection*, 70(7), 1739-1743.
- Meletiadis, J., Meis, J.F.G.M., Mouton, J.W., dan Verweij, P.E. 2001. Analysis of Growth Characteristic of Filamentous Fungi in Different Nutrien Media. *Journal of Clinical Microbiology*, 39(2), 478-484.
- Mirwan, A. 2012. Pemanfaatan Kembali Limbah Padat Lumpur PDAM untuk Penjernihan Air dari Sungai Martapura Kalimantan Selatan. Program Studi Teknik Kimia Universitas Lambung Mangkurat.
- Moursy, A.A., Aziz, A.A.O., dan Mustafa, A.Z. 2015. Bioremediation of Irradiated and Non-irradiated Sewage Sludge by *Fusarium oxysporium* Fungi. *IOSR Journal of Engineering*, 5 (3), 16-23.
- Muhammad, Y. F. 2010. Unsur Hara Makro dan Mikro. Jakarta: Erlangga.
- Munawar, A. 2012. Tinjauan Proses Bioremediasi Melalui Pengujian Tanah Tercemar Minyak. Program Studi Teknik Lingkungan UPN Veteran Jawa Timur.
- Nikam, S.B., Saler, R.S., dan Bholay, A.D. 2014. Bioremediation of Distillery Spent Wash using *Pseudomonas aeruginosa*, *Aspergillus niger* and Mixed Consortia. *Journal of Environmental Engineering*, 9(1), 129-137.
- Noriko, N., Elfidasari, D., Perdana, A.T., Wulandari, N., dan Wijayanti W. 2012. Analisis Penggunaan dan Syarat Mutu Minyak Goreng Makanan di *Food Court* UAI. *Jurnal Al-Azhar Seri Sains dan Teknologi*, 1(3), 147-154.
- Nurchahyo, W., Sumantri, I., dan Kurniasari, L. Pembuatan Aluminium Sulfat dan Clay. *Jurnal Momentum*, 10 (1), 29-33.
- Nurmansah, H. dan Karnaningroem, N. 2012 Pemanfaatan Lumpur Endapan untuk Menurunkan Kekeruhan dengan Sistem Batch. Jurusan Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Obahiagbon, K.O., Agbonghae, E.O., dan Amenaghawon, N.A. 2014. Effect of Microbial Load of *Aspergillus niger* and *Pseudomonas aeruginosa* on The Bioremediation of Crude Oil Polluted Water, 5(6), 1786-1791.

- Peraturan Kementrian Pekerjaan Umum Nomor 18 Tahun 2007 Tentang Penyelenggaraan SPAM.
- Peraturan Pemerintah Nomor 16 Tahun 2005 tentang Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM).
- Peraturan Pemerintah Nomor 20 Tahun 1990 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.
- Philips, J.A., Humphrey, E.A. 1993. An overview of process Technology for the production of liquid fuels and chemical Feed stocks via fermentation. *Organic Chemical for Biomass. Wise DW, Menia Pack CA. Benjamin Cuning's Publishing Company.* pp. 249-304.
- Pradhan, N., Das, B., Gahan, C.S., Kar, R.N., dan Sukla, LB. 2006. Beneficiation of Iron Ore Slime using *Aspergillus niger* and *Bacillus circulans*. *Journal of Bioresource Technology*, 97 (1), 1876-1879.
- Pratomo, R. 2006. Pengaruh Macam, pH, dan Penggoyangan Media Terhadap Pertumbuhan Cendawan *Rhizoctonia sp.* *Program Studi Budidaya Hutan Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor.*
- Purwanti, I.F., Abdullah, S.R.S., Hamzah, A., Idris, M., Basri, H., Mukhlisin, M., dan Latif, M.T. 2015. Biodegradation of Diesel by Bacteria Isolated from *Scirpus mucronatus* Rhizosphere in Diesel-Contaminated Sand. *Journal of Advanced Science*, 2 (1), 140-143.
- Putri, A.R., Amraini, S.Z., dan Bahrudin. 2014. Pengaruh Kadar Serbuk Gergaji Dalam Proses Bioremediasi Tanah Tercemar Minyak. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau*, 1 (1), 1-6.
- Rahmawati, Z.S. 2010. Analisis Pengaruh Sr dan Ti Terhadap Ketahanan Korosi Paduan AC4B. Departemen Material Metalurgi Universitas Indonesia.
- Rajendran, P., Ashok Kumar, B., Muthukrishnan, J., dan Gunasekaran, P. 2002. Toxicity Assessment of Nickel using *Aspergillus niger* and its Removal from an Industrial Effluent. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 201:102–103.
- Rasulov, B.A., Yili, A., and Aisa, H.A. 2013. Biosorption of Metal Ions by Exopolysaccharide Produced by *Azotobacter*

- chroococcum* XU1. *Journal of Environmental Protection*, 989-993.
- Retno, T. dan Mulyana, N. 2013. Bioremediasi Lahan Tercemar Limbah Lumpur Minyak Menggunakan Campuran Bulking Agents yang Diperkaya Konsorsia Mikroba Berbasis Kompos Iradiasi. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 9 (2), 139-150.
- Rodríguez, H. dan Fraga R. 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnol Adv.* 17:319–339.
- Rosmadewi, R.M. 2015. Dekolorisasi Limbah Pewarna Tekstil Buatan dan Alami dengan *Aspergillus niger* dan *Phanerochaete chrysosporium*. Jurusan Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Santhiya, D. dan Ting, Y. Use of Adapted *Aspergillus niger* in Bioleaching of Spent Refinery Processing Catalyst. *Journal of Biotechnology*, 121 (1), 62-74.
- Santriyana, D.D., Hayati, R., dan Apriani I.I. 2013. Eksplorasi Tanaman Fitoremediator Aluminium (Al) yang ditumbuhkan pada Limbah IPA PDAM Tirta Khatulistiwa Kota Pontianak. Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Tanjungpura.
- Sarbini, K. 2012. Biodegradasi Pyrena Menggunakan *Bacillus subtilis* C19. Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia.
- Setiawan, H. 2014. Pengaruh Chiller Pendingin pada Kekerasan Produk Cor Propeler Aluminium. *Jurnal SIMETRIS*, 5 (2), 105-113.
- Sinag, A., Gulbay, S Uskan, B. and Gullu, M. 2009. Comparative studies of intermediates produced from hydrothermal treatments of sawdust and cellulose. *J. Supercrit. Fluids*, 50, 121–127.
- Solisio, C., Lodi, A., dan Veglio, F. 2001. Bioleaching of Zinc and Aluminium from Industrial Waste Sludges by means of *Thiobacillus ferroxidans*. *Waste Management Journal*, 22, 667-675.
- SNI 6989:34:2009 tentang Air dan Air Limbah – Bagian 34: Cara Uji Aluminium (Al) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA).

- Suryani, Y. 2011. Bioremediasi Limbah Merkuri dengan Menggunakan Mikroba Pada Lingkungan yang Tercemar. *Jurnal Istek*, 5 (1), 139-148.
- Sutton, S. 2011. Accuracy of Plate Counts. *Journal of Validation Technology*, 17(3), 42-46.
- Tamat, M.R., Othman M.F., Razali, Y.S., Seri, N.A., dan Tajarudin H.A. 2015. Effect of Iron (Fe^{3+}) and Magnesium (Mg^{2+}) during biodegradation of organic matter by *Clostridium butyricum* in the leachate. *Journal of Energy, Environmental and Material Science*.
- Trihadiningrum, Y. 2012. Mikrobiologi Lingkungan. Surabaya: ITS Press.
- Tukura, B. W., Usman, N. L., dan Mohammed, H. B. 2013. Aqua Regia and Ethylenediaminetetracetic Acid (EDTA) Trace Metal Levels in Agricultural Soil. *Journal of Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 5 (11), 284-291.
- Turco, R.F., and M. Sadowsky. 1995. The Microflora of Bioremediation p: 87-89. In: Skipper, H.D., and R.F Turc (eds). *Bioremediation Science and Application America*.
- Udiharto, M. 1992. Aktivitas Mikroba dalam Degradasi *Crude Oil*. Diskusi Ilmiah VII. *Lemigas Research*. Jakarta.
- UNECE. 1994. Standard Statistical Classification of Surface Freshwater Quality for the Maintenance of Aquatic Life. In: Readings in International Environment Statistic. United Nations Economic Commission for Europe, United Nations, New York and Geneva.

Lampiran 1 Tahapan Metode Destruksi Basah

Menurut Tukura pencemar inorganik, antara lain: et al. (2013), beberapa tahapan yang dilakukan pada ekstraksi zat

1. Penyiapan larutan *aqua regia*
 - a. Disiapkan larutan HCl 37% atau 11,96 M sebanyak 1000 mL
 - b. Disiapkan larutan HNO₃ 70% atau 16,52 M sebanyak 1000 mL
 - c. Larutan HCl 37% dan HNO₃ 70% dicampur dengan perbandingan dalam v/v sebesar 3:1. Dalam 1000 mL larutan *aqua regia* terdapat 750 mL larutan HCl dan 250 mL larutan HNO₃.
 - d. Larutan *aqua regia* siap digunakan untuk ekstraksi zat inorganik.
2. Diambil lumpur alum kering yang telah dipanaskan dalam oven 105°C selama 24 jam sebanyak 1 gram dengan spatula dan dimasukkan labu Erlenmeyer 100 ml.
3. Ditambahkan larutan *aqua regia* ke dalam labu Erlenmeyer sebanyak 28 mL.
4. Campuran sampel lumpur alum dan larutan *aqua regia* didiamkan selama 24 jam.
5. Campuran sampel lumpur alum dan larutan *aqua regia* dipanaskan dengan kompor listrik bersuhu 140°C sampai hampir kering.
6. Ditambahkan aquades sampai volume larutan 20 mL, kemudian sampel disaring dengan kertas saring.
7. Larutan hasil proses penyaringan diencerkan dengan aquades sampai volume 50 mL menggunakan labu ukur.
8. Larutan hasil proses ekstraksi siap untuk dianalisis konsentrasi total aluminiumnya dengan menggunakan metode AAS.

Halaman ini sengaja dikosongkan

Lampiran 2 Tahapan *Re-growth* Isolat Bakteri dan Jamur

1. Bakteri dan jamur induk, media NA miring, PDA miring dan semua peralatan inokulasi disiapkan sebelum dilakukan proses peremajaan.
2. Jarum ose yang akan digunakan dipanaskan hingga membara kemudian didinginkan dengan cara diangin-anginkan.
3. Penutup tabung dibuka kemudian dilewatkan pada api sebanyak dua kali.
4. Diambil ose bakteri dan jamur induk dengan cara menggores ose pada bakteri dan jamur induk.
5. Setelah selesai, mulut tabung dilewatkan pada api dua kali dan ditutup kembali dengan kapas lemak.
6. Penutup tabung NA miring dan PDA miring dibuka, kemudian mulut tabung dilewatkan api sebanyak dua kali.
7. Jarum ose yang sudah mengandung bakteri dan jamur dioleskan secara zig-zag pada media NA miring dan untuk jamur dioleskan secara zig-zag pada media PDA dimulai dengan dasar tabung.
8. Setelah selesai, mulut tabung dilewatkan pada api dua kali dan ditutup kembali dengan kapas lemak.
9. Semua perlakuan dari tahap 1-8 harus dilakukan secara aseptik, yaitu dekat dengan api (maksimum 20 cm dari api).
10. Jarum ose dipanaskan hingga membara untuk membunuh semua bakteri yang menempel.
11. Tabung NA miring dan PDA miring yang telah bakteri dan jamur disimpan pada inkubator dengan suhu 37° selama 24 jam.
12. Setelah 24 jam waktu inkubasi untuk bakteri dan 3 hari waktu inkubasi untuk jamur, kedua mikroorganisme siap digunakan untuk penelitian.

Halaman ini sengaja dikosongkan

Lampiran 3 Tahapan Uji Laju Pertumbuhan Bakteri (*Single Culture Microorganism*)

1. Bakteri yang berumur 24 jam yang telah diinokulasikan ke media NA diambil 2 ose.
2. Bakteri di ose dipindahkan ke dalam tabung erlenmeyer bervolume 250 ml yang berisi media cair NB sebanyak 100 ml.
3. Jika bakteri terlihat masih menggumpal dilakukan pengadukan secara manual dengan cara menggoyangkan Erlenmeyer.
4. Labu erlenmeyer yang sudah berisi isolat bakteri diambil sebanyak ± 3 ml untuk diamati *Optical Density* (OD) pada jam ke-0 sebelum diletakkan pada *shaker*.
5. Dilakukan proses pengadukan erlenmeyer dengan tujuan untuk mencampur, meratakan dan menumbuhkan bakteri yang telah diinokulasikan pada media cair NB.
6. Proses pengadukan dilakukan selama 24 jam dengan kecepatan pengadukan adalah 150 rpm (Purwanti et al., 2015).
7. Pada 1 jam pertama setelah jam ke-0 dilakukan kembali pengambilan sampel sebanyak ± 3 ml untuk diamati *Optical Density* (OD).
8. Pengukuran nilai *Optical Density* (OD) dilakukan dengan spektrofotometer dengan panjang gelombang 600 nm (Kumar et al., 2014).
9. Pengamatan dilakukan setiap 1 jam sekali selama 24 jam.
10. Dilakukan juga pengukuran OD terhadap blanko yakni berupa media NB yang tidak berisikan bakteri sebagai control.
11. Setelah 24 jam, data *Optical Density* (OD) yang didapat berupa nilai absorbansi digunakan untuk membuat kurva pertumbuhan dengan sumbu X yang merupakan waktu (t) dan sumbu Y merupakan nilai absorbansi sebagai nilai *Optical Density* (OD).
12. Fase eksponensial yang didapatkan nantinya akan digunakan pada tahapan inokulasi bakteri ke media yang mengandung aluminium

Halaman ini sengaja dikosongkan

Lampiran 4 Tahapan Inokulasi Bakteri ke Media yang Mengandung Aluminium

1. Sampel disiapkan sesuai dengan perbandingan persentase berat antara lumpur alum dan serbuk gergaji pada tabel 3.1 ke dalam wadah kaca 650 ml.
2. Bakteri yang berumur 24 jam yang telah diinokulasikan di media agar miring NA diambil sebanyak 5 ose kemudian dipindahkan ke dalam tabung erlenmeyer bervolume 250 ml yang berisi media NB sebanyak 150 ml. Tahapan ini berdasarkan Deepali (2011) yang telah disesuaikan.
3. Jika bakteri terlihat masih menggumpal dilakukan pengadukan secara manual dengan cara menggoyangkan erlenmeyer
4. Erlenmeyer yang telah berisi bakteri *dishaker* setengah waktu eksponensial *single culture* untuk menumbuhkan bakteri pada media cair NB.
5. Setelah *dishaker*, diambil sebanyak 50 ml media NB dan yang telah ditumbuhi bakteri selanjutnya dituangkan pada tabung *centrifuge*.
6. Dilakukan proses sentrifugasi selama 10 menit dengan putaran sebanyak 4000 rpm (Purwanti et al., 2015).
7. Supernatan yang tidak berisi bakteri dibuang dari tabung *centrifuge*.
8. Setiap tabung *centrifuge* yang berisi endapan (pellet) bakteri dicuci dengan air salin 8.5% (NaCl) steril tanpa dikocok sebanyak 2 kali.
9. Hasil dari pencucian kemudian ditambahkan dengan air salin 8.5% (NaCl) steril sebanyak 30 ml, kemudian dikocok manual hingga tercampur dengan masing-masing endapan bakteri.
10. Diukur nilai *Optical Density* (OD) dengan spektrofotometer yang memiliki panjang gelombang 600 nm (Kumar et al., 2014).
11. Dilakukan *trial and error* absorbansi hingga didapatkan nilai absorbansi sebesar ± 0.5 A (Purwanti et al., 2015).
12. Bakteri yang masing-masing telah melewati tahap *trial and error* absorbansi dimasukkan ke dalam reaktor

dengan pipet skala (Pyrex, Jerman) sesuai dengan perbandingan pada tabel 3.1.

13. Setelah dilakukan inokulasi bakteri ke dalam media yang mengandung aluminium, dilakukan proses pengadukan secara manual. Saat masa inokulasi suhu ruangan harus dipantau.

Lampiran 5 Tahapan Metode Volumetri dan Gravimetri

Berdasarkan ASTM D2937-71 dan SNI 03-3637-1994, beberapa tahapan yang dilakukan untuk menguji porositas sampel antara lain:

1. Ditimbang cawan diatas neraca analitik
2. Diisi cawan dengan air raksa kemudian air raksa diratakan diatas cawan
3. Ditimbang cawan yang berisi air raksa diatas neraca analitik untuk mengetahui volume sampel
4. Dimasukkan sampel ke dalam cawan yang sebelumnya diisi air raksa
5. Ditimbang sampel dengan cawan diatas neraca analitik
6. Dimasukkan oven 105°C selama 24 jam untuk menghilangkan kadar air sampel.
7. Diukur berat kering sampel dan cawan diatas neraca analitik
8. Ditumbuk sampel kering hingga agak halus
9. Ditimbang piknometer 500 ml kosong dengan neraca analitik
10. Dimasukkan sampel kering yang telah ditumbuk ke dalam piknometer 500 ml
11. Ditimbang berat sampel kering dan piknometer dengan neraca analitik
12. Ditambahkan air aquades hingga 200 ml ke dalam piknometer
13. Direndam sampel kering di dalam aquades selama 24 jam
14. Ditambahkan aquades hingga volume sampel di dalam piknometer menjadi 500 ml
15. Ditimbang berat piknometer dan sampel yang telah ditambahkan aquades hingga 500 ml dengan neraca analitik
16. Divacuum piknometer yang berisi air sampel diatas mesin vacuum hingga piknometer terasa dingin (tanda uap air sudah tervacuum)
17. Diukur suhu sampel setelah divacuum dengan termometer

18. Ditimbang berat piknometer dan sampel setelah proses *vacuum*
19. Dibuang air sampel di dalam piknometer, selanjutnya piknometer dibersihkan
20. Diisi piknometer dengan aquades kemudian diukur suhunya dengan termometer.

Lampiran 6 Dokumentasi Kegiatan

- Uji Porositas



- Destruksi Basah



- Reaktor Uji



Halaman ini sengaja dikosongkan

Lampiran 7 Hasil Perhitungan Porositas Sampel

Komposisi Sampel		1% SG: 99% LA	2% SG: 98% LA	3% SG: 97% LA
1	Nomor Cawan	1	2	3
2	Berat Cawan Kosong	26,31	27,71	30,67
3	Berat Cawan + Sampel Basah	41,70	42,76	45,09
4	Berat Cawan + Sampel Kering	27,67	29,13	32,18
5	Berat Cawan Peluberan	26,31	27,71	30,66
6	Berat Cawan Peluberan + Hg luber	226,72	225,30	213,04
7	Berat Hg Luber (6-5)	200,41	197,59	182,37
8	Berat Sampel Basah (3-2)	15,38	15,04	14,42
9	Volume Sampel (7/13,6)	14,74	14,53	13,41
10	Berat Air (3-4)	14,02	13,62	12,90
11	Berat Sampel Kering (4-2)	1,36	1,42	1,51
12	Berat Sampel Basah/Vol Sampel (8/9)	1,04	1,03	1,07
13	Berat Sampel Kering/Vol Sampel (11/9)	0,09	0,09	0,11
14	Kadar Air ((10/11)*100%)	0,91	0,91	0,90
15	Derajat Kejenuhan (14*29/17)	4223	5062	4081
16	Kadar Pori (17/(1+17)*100)	0,05	0,052	0,055
17	Angka Pori (27/26)	0,054	0,055	0,058
18	No Piknometer	47	75	83
19	Berat Piknometer Kosong	78,61	119,34	89,68
20	Berat Pikno + Air Suling	327,27	368,08	338,37

Komposisi Sampel		1% SG: 99% LA	2% SG: 98% LA	3% SG: 97% LA
1	Nomor Cawan	1	2	3
21	Berat Pikno + Sampel Kering	80,151	120,65	91,24
22	Berat Pikno + Sampel + Air (20+26)	328,81	369,38	339,93
23	Berat Berat Pikno + Sampel + Air (Setelah vaccuum)	328,14	368,83	339,28
24	Temperatur	28	28	28
25	Berat Air Suling	248,66	248,73	248,69
26	Berat Sampel Kering (21-19)	1,53	1,30	1,56
27	Volume Butir (11/29)	0,08	0,07	0,09
28	Volume Pori (9/27)	176,5	202,74	148,97
29	Spesific Gravity (11 α /(22-23))	16,36	19,85	16,82

Lampiran 8 Hasil Perhitungan TPC (*Total Plate Counter*)

- Penambahan bakteri dan jamur sebanyak 5% v/v

Hari ke-	Jumlah Bakteri dan Jamur (Log CFU)							
	Kontrol 1A	Kontrol 2A	B5LA	B5SG	Kontrol 1B	Kontrol 2B	J5LA	J5S1
0	10,12	9,10	9,07	9,26	4,40	4,44	4,20	4,43
3	9,07	9,02	8,81	8,72	4,53	4,58	4,61	4,58
5	9,10	8,80	8,89	8,41	4,75	4,64	4,75	4,77

- Penambahan bakteri dan jamur sebanyak 10% v/v

Hari ke-	Jumlah Bakteri dan Jamur (Log CFU)							
	Kontrol 1A	Kontrol 2A	B0LA	B0SG	Kontrol 1B	Kontrol 2B	J0LA	J0S1
0	10,12	9,10	11,09	8,31	4,40	4,44	4,86	4,81
3	9,07	9,02	8,47	8,84	4,53	4,58	4,95	4,78
5	9,10	8,80	8,95	8,97	4,75	4,64	5,12	5,08

- **Penambahan kombinasi bakteri dan jamur sebanyak 5% v/v**

Hari ke-	Jumlah Bakteri dan Jamur (Log CFU)							
	Kontrol 1A	Kontrol 2A	B5LA	B5SG	Kontrol 1B	Kontrol 2B	J5LA	J5SG
0	10,12	9,10	9,25	8,95	4,40	4,44	4,56	4,33
3	9,07	9,02	9,12	8,92	4,53	4,58	4,80	4,81
5	9,10	8,80	9,26	9,00	4,78	4,64	4,84	4,93

- **Penambahan kombinasi bakteri dan jamur sebanyak 10% v/v**

Hari ke-	Jumlah Bakteri dan Jamur (Log CFU)							
	Kontrol 1A	Kontrol 2A	B0LA	B0SG	Kontrol 1B	Kontrol 2B	J0LA	J0SG
0	10,12	9,10	9,29	9,00	4,40	4,44	4,36	4,94
3	9,07	9,02	9,24	8,84	4,53	4,58	4,96	4,90
5	9,10	8,80	9,25	9,01	4,78	4,64	4,97	5,00

Lampiran 9 Hasil Perhitungan Penurunan Konsentrasi Aluminium

No	Reaktor	Berat Lumpur Kering (g)		Pengenceran (ml)	Hasil AAS (mg/L)		Konsentrasi Lumpur Alum mg/kg		% Penyisihan Al
		Awal	Akhir		Awal	Akhir	Awal	Akhir	
1	Kontrol 1	0,719	1	50	394	550	27399	27363	0,13
2	Kontrol 2	0,821	1	50	228	465	13886	23178	0,00
3	B0LA	0,845	1	50	428	400	25325	19980	21,11
4	B5LA	0,906	1	50	483,5	259	26724	12655	52,65
5	B0SG	0,825	1	50	257	289	15576	14436	7,32
6	B5SG	0,810	1	50	217	247	13393	12301	8,16
7	J0LA	1	1	50	582	580	29042	26404	9,08
8	J5LA	1	1	50	480	474	23969	21944	8,45
9	J0SG	1	1	50	572	559	28532	25647	10,11
10	J5SG	1	1	50	605	596	30217	27718	8,27
11	C0LA	1	1	50	617	323	30850	14684	53,87
12	C5LA	1	1	50	608	542	29798	25787	13,46
13	C0SG	1	1	50	641	538	31406	24683	21,41
14	C5SG	1	1	50	644	587	32165	27300	15,12

Halaman ini sengaja dikosongkan

Lampiran 10 Hasil Perhitungan Suhu, pH dan Kadar Air

• pH Reaktor Uji dengan Penambahan Bakteri

No	Nama Reaktor	Hari ke-					
		0	1	2	3	4	5
1	Kontrol 1	7,80	7,80	7,85	7,90	7,90	7,95
2	B0LA	7,70	7,70	7,70	7,70	8,05	8,05
3	B5LA	7,75	7,75	7,85	7,85	7,95	8,00
4	Kontrol 2	7,45	7,45	7,40	7,65	7,70	7,85
5	B0SG	7,25	7,30	7,20	7,35	7,50	7,65
6	B5SG	7,30	7,30	7,25	7,40	7,65	7,85

• pH Reaktor Uji dengan Penambahan Jamur

No	Nama Reaktor	Hari ke-					
		0	1	2	3	4	5
1	Kontrol 1	7,80	7,80	7,85	7,90	7,90	7,95
2	J5LA	8,25	8,41	8,44	8,57	8,58	8,59
3	J0LA	7,90	8,37	8,47	8,53	8,52	8,53
4	Kontrol 2	7,45	7,45	7,40	7,65	7,70	7,85

No	Nama Reaktor	Hari ke-					
		0	1	2	3	4	5
5	J5SG	8,00	8,20	8,38	8,46	8,44	8,46
6	J0SG	8,00	8,22	8,22	8,42	8,37	8,39

- **pH Reaktor Uji dengan Penambahan Kombinasi Bakteri dan Jamur**

No	Nama Reaktor	Hari ke-					
		0	1	2	3	4	5
1	Kontrol 1	7,80	7,80	7,85	7,86	7,90	7,95
2	C0LA	7,45	7,45	7,40	7,65	7,70	7,85
3	C5LA	7,36	7,30	7,35	7,40	7,65	7,90
4	Kontrol 2	7,45	7,45	7,40	7,65	7,70	7,85
5	C0SG	7,30	7,30	7,25	7,44	7,75	7,85
6	C5SG	7,75	7,75	7,85	7,85	7,95	8,00

- **Suhu Reaktor Uji dengan Penambahan Bakteri**

No	Nama Reaktor	Hari ke-					
		0	1	2	3	4	5
1	Kontrol 1	30	30	31	31	29	28,5
2	B0LA	30	30	30	30	28	28
3	B5LA	30	30	30	30	28	27
4	Kontrol 2	29,5	29,5	29,5	28	28	28
5	B0SG	30	30	30	29	28	28
6	B5SG	28	28	28	28	27	26

- **Suhu Reaktor Uji dengan Penambahan Jamur**

No	Nama Reaktor	Hari ke-					
		0	1	2	3	4	5
1	Kontrol 1	30	30	31	31	29	28,5
2	J5LA	31	32	33	33	33,5	32
3	J0LA	31	31	33	33	33	32
4	Kontrol 2	29,5	29,5	29,5	28	28	28
5	J5SG	30	30	32	31	32	30
6	J0SG	30	31	33	32	33	32

- Suhu Reaktor Uji dengan Penambahan Kombinasi Bakteri dan Jamur**

No	Nama Reaktor	Hari ke-					
		0	1	2	3	4	5
1	Kontrol 1	31	31	30	32	33	32
2	C5LA	31	32	33	32	33,5	30
3	C0LA	31	33	32	33	34	32
4	Kontrol 2	30	31	33	32	33,5	31
5	C5SG	31	32	32	33	33,5	32
6	C0SG	30	31	32	31	32	30

- Kadar Air Reaktor Uji dengan Penambahan Bakteri**

No	Reaktor	Hari ke-					
		0	1	2	3	4	5
1	Kontrol 1	95%	95%	95%	94%	94%	94%
2	B0LA	94%	94%	94%	94%	94%	94%
3	B5LA	94%	93%	94%	93%	93%	93%
4	Kontrol 2	93%	93%	93%	93%	93%	92%
5	B0SG	90%	90%	90%	90%	89%	89%

No	Reaktor	Hari ke-					
		0	1	2	3	4	5
6	B5SG	89%	89%	89%	89%	89%	89%

- Kadar Air Reaktor Uji dengan Penambahan Jamur**

No	Reaktor	Hari ke-					
		0	1	2	3	4	5
1	Kontrol 1	95%	95%	95%	94%	94%	94%
2	J5LA	95%	94%	94%	93%	93%	93%
3	J0LA	96%	95%	95%	95%	95%	95%
4	Kontrol 2	93%	93%	93%	93%	93%	92%
5	J5SG	94%	93%	93%	92%	92%	91%
6	J0SG	94%	94%	94%	93%	93%	93%

- Kadar Air Reaktor Uji dengan Penambahan Kombinasi Bakteri dan Jamur**

No	Reaktor	Hari ke-					
		0	1	2	3	4	5
1	Kontrol 1	95%	95%	95%	94%	94%	94%

No	Reaktor	Hari ke-					
		0	1	2	3	4	5
2	C0LA	95%	94%	94%	94%	94%	93%
3	C5LA	96%	95%	93%	93%	93%	92%
4	Kontrol 2	96%	93%	93%	93%	93%	92%
5	C0SG	94%	93%	92%	90%	89%	89%
6	C5SG	96%	94%	91%	91%	89%	89%

Lampiran 11 Hasil Uji AAS

- Sampel Awal Penelitian Penambahan Bakteri *Pseudomonas fluorescens*



JURUSAN TEKNIK KIMIA FTI - ITS
TEAM AFILIASI DAN KONSULTASI INDUSTRI
 KAMPUS ITS, SUKOLILO - SURABAYA, TELP. (031) 5922935 FAX. (031) 5999282

KETERANGAN HASIL ANALISA

No.31B/LTAKI/XI/2016

Terima dari : **Bapik Edy**
 Jur.T.Lingkungan FTSP- ITS
 Surabaya
 Jenis contoh : Air
 U.analisa : Al
 Diterima tgl. : 2 Nopember 2016

Parameter	Hasil analisa	Methode analisa
	Al ,mg/l	
A	330	Al (Spektrophotometri)
B	188	
C	342	
D	247	
E	528	
F	400	
G	446	
H	457	
I	550	
J	723	
K	525	
L	465	
AlI	40	
Al2	18	

Keterangan :

- ♦ Hasil analisa tersebut diatas berdasarkan contoh yang kami terima



- **Sampel Akhir Penelitian Penambahan Bakteri *Pseudomonas fluorescens***



JURUSAN TEKNIK KIMIA FTI - ITS
TEAM AFILIASI DAN KONSULTASI INDUSTRI
 KAMPUS ITS, SUKOLILO - SURABAYA, Telp. (031) 5922935 FAX. (031) 5999282

KETERANGAN HASIL ANALISA

No.09/L.TAKI/XI/2016

Terima dari : **Bapak Edy**
 Jur.T.Lingkungan FTSP- ITS
 Surabaya
 Jenis contoh : Air
 U.amalisa : Al, Na
 Diterima tgl. : 24 Oktober 2016

Parameter	Hasil analisa		Methode analisa
	Al ,mg/l	Na ,mg/l	
1	650	-	Al (Spektrophotometri) Na (flamephotometri)
2	194	-	
3	217	-	
4	317	-	
5	428	-	
6	163	-	
7	400	-	
8	257	-	
9	394	-	
10	376	-	
11	255	-	
12	228	-	
1	-	0,66	
2	-	1,33	
3	-	1,33	
4	-	1,00	

Keterangan :

- Hasil analisa tersebut diatas berdasarkan contoh yang kami terima



Kepala Laboratorium TAKI

- Sampel Awal dan Akhir Penelitian Penambahan Jamur *Aspergillus niger*



JURUSAN TEKNIK KIMIA FTI - ITS
TEAM AFILIASI DAN KONSULTASI INDUSTRI
 KAMPUS ITS, SUKOLILO - SURABAYA, Telp. (031) 5922935 FAX. (031) 5999282

KETERANGAN HASIL ANALISA

No.08B/LTAKI/XII/2016

Terima dari : **Bapak Edy**
 T.Lingkungan FTSP-ITS
 Surabaya
 Jenis contoh : Air
 U.analisa : Al
 Diterima tgl. : 30 Nopember 2016

Kode contoh	Hasil analisa	Kode contoh	Hasil analisa
	Al ,mg/l		Al ,mg/l
1	582	A	580
2	455	B	466
3	480	C	474
4	465	D	476
5	572	E	559
6	552	F	539
7	605	G	596
8	524	H	546

Keterangan :

- Hasil analisa tersebut diatas berdasarkan contoh yang kami terima



- Sampel Awal dan Akhir Penelitian Penambahan Kombinasi *Pseudomonas fluorescens* dan *Aspergillus niger*



JURUSAN TEKNIK KIMIA FTI - ITS
TEAM AFILIASI DAN KONSULTASI INDUSTRI
 KAMPUS ITS, SUKOLILO - SURABAYA, TELP. (031) 5922935 FAX. (031) 5999282

KETERANGAN HASIL ANALISA

No.17B /LTAKI/XII/2016

Terima dari : **Bapk Edy**
 Jur.T.Lingkungan FTSP- ITS
 Surabaya
 Jenis contoh : Air
 U.analisa : Al
 Diterima tgl. : 8 Desember 2016

Kode contoh	Hasil analisa	Kode contoh	Hasil analisa
	Al .mg/l		Al .mg/l
1	323	A	527
2	500	B	617
3	639	C	634
4	542	D	608
5	538	E	641
6	569	F	663
6A	587	G	644
7	417	H	673

Keterangan :

- ♦ Hasil analisa tersebut diatas berdasarkan contoh yang kami terima



BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama lengkap Indira Wido Primadipta. Penulis dilahirkan di Mojokerto pada tanggal 4 Juni 1995. Penulis merupakan anak kedua dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Negeri Magersari 1 Kota Mojokerto, SMP Negeri 1 Kota Mojokerto, dan SMA Negeri 1 Sooko Kabupaten Mojokerto. Pada tahun 2013 penulis melanjutkan pendidikan strata sarjananya di Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS dengan NRP 3313100010.

Semasa kuliah penulis aktif sebagai pengurus organisasi Ikatan Mahasiswa Teknik Lingkungan Indonesia (IMTLI) sebagai Kepala Bidang Komunikasi Departemen Komunikasi dan Informasi periode 2015/2016 dan Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) sebagai Kepala Departemen Dalam Negeri periode 2015/2016 serta menjadi asisten laboratorium mata kuliah Teknik Analisis Pencemar Lingkungan (TAPL). Penulis aktif di berbagai kegiatan baik di dalam maupun di luar kampus. Beberapa kegiatan yang diikuti adalah sebagai *Steering Committee* dalam kepanitian *Young Engineers and Scientists Summit ASEAN 2015*, menjadi peserta dalam kegiatan *Indonesia Environmental Summit (IES) 2015* yang diadakan oleh Universitas Padjadjaran, mengikuti pelatihan *Understanding and Implementing Based on ISO 14001:2015*.

Penulis melakukan kerja praktik tahun 2016 di PT. Pertamina Hulu Energi *West Madura Offshore*, dengan judul Pengurangan dan Penanganan Limbah Padat serta Penentuan Gas Rumah Kaca PT.

Pertamina Hulu Energi *West Madura Offshore*. Penulis juga mengajukan PKM DIKTI bidang Pengabdian Masyarakat tahun 2014/2015, dengan predikat didanai. Segala kritik saran yang membangun dapat dikirimkan melalui email: indirawido@gmail.com.